

# Trabajo Fin de Grado

Análisis de las prestaciones de vehículos  
industriales de tracción eléctrica para el  
transporte de mercancía pesada

Autor/es

Guillermo Lorenzo Rosa Latre

Director/es

Emilio Larrodé Pellicer

Universidad de Zaragoza / EINA  
25 de junio de 2019



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

## RESUMEN

La logística se está viendo influenciada por los avances que se están produciendo en torno a la tracción eléctrica. Los vehículos convencionales impulsados por motor de combustión interna se alimentan a partir de combustibles fósiles, lo cual hace que ante los problemas de estos combustibles haya que buscar otras vías de propulsión. Los combustibles fósiles tienen principalmente dos escollos, el alto nivel de contaminación y la escasez de estos bienes naturales.

Los vehículos industriales de tracción eléctrica están en pleno proceso de investigación y desarrollo por parte de los fabricantes. Estos vehículos para poder ser implantados en el mercado deben tener unas aplicaciones con unas características similares a los convencionales para tener éxito. Este tipo de vehículos propulsados por un motor eléctrico se alimentan por la energía de unos acumuladores que principalmente son de ion litio. El principal problema de la aptitud de estos vehículos eléctricos viene de estos acumuladores de energía, que no tienen la densidad de energía lo suficientemente alta como para llevar más energía con un peso menor. Este motivo es el que hace que se reduzca la carga útil a poder ser transportada, haciendo que haya una diferencia de costes actualmente entre ambos tipos de transporte de más de un 50% a la hora de transportar una misma carga.

Otro gran reto que tienen los vehículos eléctricos es el problema de la carga de baterías, ya que se pierde muchas horas en el proceso de carga. Esto es un problema ya que la jornada laboral de un transportista no puede interrumpirse durante varias horas para realizar el proceso de carga.

El vehículo industrial de tracción eléctrica para poder ser usado por las compañías de transporte tiene que mejorar estos aspectos de carga útil y autonomía, para hacer jornadas más largas. De momento el vehículo de logística eléctrico es útil para el transporte urbano, ya que el motor está encendido y apagado indistintamente y no consume tanta energía como un trayecto de carretera puro, con lo que no es necesario parar la jornada laboral. Desde el punto de vista de la carga útil en el transporte urbano no supone un gran problema.

## Contenido

1. Introducción .....	5
1.1 Objeto .....	5
1.2 Justificación .....	5
1.3 Alcance .....	5
2. Antecedentes .....	6
3. Descripción del problema. Hipótesis de cálculo .....	7
4. Metodología .....	8
4.1 Formulación .....	8
4.1.1 Resistencia al avance .....	8
4.1.2 Potencia requerida .....	9
4.1.3 Energía consumida .....	10
4.1.4 Peso de las baterías .....	10
4.1.5 Diferentes cálculos para poder analizar y comparar resultados de masas y energías de baterías .....	11
4.2 Análisis con software de vehículos eléctricos .....	12
4.3 Análisis con software Microsoft Excel .....	13
5. Análisis de resultados .....	14
5.1 Perfiles de carretera .....	14
5.2 Cuestiones previas al cálculo con software del departamento de IM .....	18
5.3 Cuestiones previas al cálculo con Microsoft Excel .....	19
5.4 Cuadro resumen de los escenarios y nomenclatura .....	21
5.5 Cálculos camión MAN TGM 26.360E .....	21
5.5.1 Cálculos del MAN a plena carga con programa del departamento .....	22
5.5.2 Cálculos del MAN a plena carga con Excel .....	24
5.6 Cálculos camión LION clase 8 .....	29
5.6.1 Cálculos del LION a plena carga con programa del departamento .....	29
5.6.2 Cálculos del LION a plena carga con Excel .....	32
5.7 Resumen resultados MAN TGM 26.360 E .....	35
5.7.1 Comparativa con datos declarados del fabricante .....	39
5.7.2 Comparativa con camión convencional .....	40
5.8 Resumen resultados LION clase 8 .....	41
5.8.1 Comparativa con datos declarados del fabricante .....	45
5.8.2 Comparativa con camión convencional .....	46
5.9 Grados de dureza .....	47

6. Conclusiones y futura continuación.....	48
7. Bibliografía y fuentes de información.....	52
Anexos .....	53
Anexo 1- Resto de resultados de escenarios para camión MAN .....	53
Cálculos del MAN a plena carga con software del departamento de IM.....	53
Cálculos del MAN a plena carga con Excel .....	57
Cálculos del MAN con $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ con Excel .....	62
Cálculos del MAN sin $Q_{\text{útil}}$ con Excel .....	67
Anexo 2- Resto de resultados de escenarios para camión LION clase 8 .....	72
Cálculos del LION a plena carga con software del departamento de IM .....	72
Cálculos del LION a plena carga con Excel .....	76
Cálculos del LION con $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ con Excel .....	78
Cálculos del LION sin $Q_{\text{útil}}$ con Excel .....	81
Anexo 3- Datos técnicos del camión MAN TGM 36.360 E .....	85
Anexo 4- Datos técnicos del camión LION clase 8 .....	87
Anexo 5- Catálogo de datos técnicos de los motores de ambos camiones.....	91
Anexo 6- Coeficiente de resistencia a la rodadura .....	95
Anexo 7- Comparativa con otros vehículos.....	96
Comparativa MAN con medios de transporte eléctricos diferentes.....	96
Comparativa LION con medios de transporte eléctricos diferentes .....	97

## 1. Introducción

### 1.1 Objeto

Este trabajo tiene por objeto el estudio de las prestaciones de vehículos industriales de transporte de mercancías con tracción eléctrica. Las prestaciones de estos vehículos se van a obtener mediante software del departamento de Ingeniería Mecánica, así como con el programa Microsoft Excel. Los cálculos se realizan por dos métodos diferentes para ver que entre ellos no difieren mucho.

Las prestaciones que se obtienen mediante los cálculos se contrastan y valoran con respecto a las que presentan las marcas de este tipo de vehículos. Este es un paso muy importante ya que es la corroboración de que los datos que se están aportando al sector del transporte son fiables o por el contrario porqué difieren de los calculados.

De toda la búsqueda de información previa a la fase de cálculo se encontraron una serie de vehículos. Los camiones que se van a analizar son de un tonelaje muy próximo, ya que con ello aseguramos la fiabilidad de resultados y poder compararlos óptimamente con la ficha técnica y entre ellos. Los camiones elegidos son el MAN TGM 26.360E y el LION clase 8, más tarde ya los veremos. En los anexos están los datos de ambos.

### 1.2 Justificación

Este proyecto intenta continuar con los estudios que se llevan realizando durante años por intentar reducir la emisión de gases de efecto invernadero. El desarrollo del vehículo eléctrico también tiene que ir acompañado con el de las energías renovables.

Si las empresas desplazan los vehículos de combustión por los de tracción eléctrica se puede ganar en estabilidad económica y competitividad dentro del sector de la logística, por ejemplo. El petróleo es un bien finito que conforme se llegue al final de sus existencias su precio se incrementará, haciendo que la logística tenga unos gastos fijos inasumibles.

Por todos estos motivos, las autoridades estatales y europeas están poniendo énfasis en el desarrollo con subvenciones en el estudio de este tipo de vehículos eléctricos. Todos estos factores son los que han impulsado a la realización de este proyecto de investigación.

### 1.3 Alcance

Este proyecto está dirigido principalmente al cálculo y análisis de diferentes aspectos de los vehículos de tracción eléctrica. Estos aspectos son principalmente la autonomía del vehículo, su carga útil y las velocidades de trabajo.

Los escenarios de transporte que se han llevado a cabo no son aleatorios, pretenden mostrar tres tipos diferentes de trayectos, especialmente en lo que corresponde a sus pendientes y la altura que se salva entre punto de inicio y fin de recorrido. Todos los recorridos de análisis tienen la misma distancia, esto no es baladí ya que de esta manera es más fácil la comparación entre todos ellos. Los tipos de trayectos son un factor primordial en el cálculo de las baterías.

## 2. Antecedentes

El vehículo de uso industrial con tracción eléctrica tuvo su origen en los Estados Unidos (Fuentes, 2018), su auge se produjo entre 1920 y la Segunda Guerra Mundial. La primera compañía fue Electric Storage Batterie en Filadelfia, que comenzó a producir camiones con una masa máxima autorizada de unas siete toneladas. Otra compañía que tuvo un gran impacto en la sociedad estadounidense fue Walter, en Chicago, incluso exportando vehículos a Inglaterra para la famosa compañía Harrods y a Europa.

Justo antes de la Segunda Guerra Mundial surgieron dos nuevos fabricantes, Lansden en Nueva York y Steinmetz. Ambos se dedicaron a la producción de vehículos de transporte de mercancías con tracción eléctrica. Las baterías de Lansden eran un diseño de Edison. Steinmetz consiguió vehículos con mejores características de velocidad, autonomía, coste de mantenimiento y robustez. Todo esto les hizo ser muy competitivos.

En general, los vehículos eléctricos de comienzos del siglo XX (Bocanegra, 2011) tenían el problema de una baja autonomía, lo que los hacía útiles para uso urbano exclusivamente, manejándose mejor que el de motor de combustión en este escenario por la baja contaminación y el gasto nulo en las paradas.

En España hasta el fin de la Guerra Civil no empezaron a salir al mercado vehículos eléctricos, aunque estos no estaban destinados al transporte sino únicamente como utilitarios. En los años cuarenta en España había problemas para conseguir importar petróleo, fue esto lo que principalmente propició el uso de vehículos eléctricos. Estos vehículos se dejaron de usar a finales de los años cincuenta debido a que España se convirtió en aliado de Estados Unidos y ya no hubo problemas de obtención de petróleo.

El petróleo, un bien finito, ha sufrido grandes subidas y bajadas, pero la más grave fue la de 1973 (Cabrillo, 2016), cuando los países árabes se negaron a vender petróleo a occidente por el apoyo al Estado de Israel. Esta crisis tuvo un gran impacto económico ya que provocó una gran inflación.

Los problemas económicos, de contaminación y de obtención de petróleo hacen que los vehículos de combustión queden en entredicho y se esté innovando en vehículos eléctricos para uso industrial y familiar.

Los vehículos de logística eléctricos tienen varios retos que hacen que sea compleja su implantación. El primer reto es el peso de las baterías, que hace que si se quiere poder transportar una carga útil alta con una buena autonomía su peso se incrementa mucho, haciendo que la carga útil se reduzca. Las baterías no han tenido una revolución, las mejores que se comercializan son las de litio, que tienen una densidad de energía tres veces superior a las de plomo tradicionales, pero que se son escasas para su implementación definitiva en los vehículos del sector del transporte. Todos estos factores hacen que la información de los fabricantes sea escasa.

Otro gran reto de los vehículos industriales de tracción eléctrica que impulsa a la innovación son los métodos de carga de baterías, en los que se pierde mucho tiempo, haciendo que no sean útiles debido a que no se puede parar la jornada laboral de un operario a mitad para cargar. Además, en trayectos largos habría que ir parando cada cierto tiempo a cargar y esto puede llevar según los fabricantes en torno a diez horas de media, los tiempos de carga se pueden observar en los anexos de los datos técnicos de los diversos camiones.

### 3. Descripción del problema. Hipótesis de cálculo

Se va a describir concretamente que es lo que se va a resolver en este trabajo con el objeto de poder entender el proceso que se ha seguido para la obtención de los diferentes resultados.

El problema trata de determinar los consumos de energía en los trayectos para obtener los pesos de las baterías del vehículo industrial. Tras la obtención de estos resultados se compararán y valorarán.

Para la obtención de los consumos y pesos de baterías se han usado tres condiciones diferentes de trabajo, es decir, tres perfiles diferentes de carreteras con el fin de poder analizar cómo influye la pendiente. También se ha estudiado tres casos con diferentes cargas útiles. De esta manera se podrá determinar la capacidad de transporte de mercancías en función de la autonomía y de la potencia instalada.

Para la resolución del problema se han hecho una serie de hipótesis o condiciones de contorno:

- Los tres trayectos que se han escogido tienen los tres el mismo kilometraje. Para medir la pendiente se han cogido tramos de diez kilómetros con el objetivo de poder conocer el perfil con más detalle que si únicamente se hubiera calculado con el punto de inicio y fin de recorrido.
- Para poder hallar la energía de las baterías se han considerado las tres resistencias al avance que son las mayoritarias. Estas son la resistencia a la rodadura, la resistencia aerodinámica y la resistencia a las pendientes. En el siguiente apartado de formulación ya se podrá ver como se ha calculado cada una, así como todas las variables que intervienen en ellas.
- La velocidad de los trayectos se ha considerado que se mantenía constante a lo largo de todo el trayecto, la velocidad de trabajo ha sido noventa kilómetros por hora. Esto es bastante realista ya que los camiones una vez en marcha no sufren fluctuaciones grandes de velocidad durante el trayecto en autovía. Por otro lado, esta es la velocidad máxima permitida para camiones.
- El coeficiente de rodadura se ha considerado como un valor fijo para ambos camiones (Wong, 2001),  $\mu = 0,012$ , ya que se ha supuesto que el recorrido se realiza a una velocidad constante. Esto es importante señalarlo, ya que disminuye con la presión de inflado y aumenta ligeramente con la velocidad.
- La densidad de energía de las baterías (Victor, 2012) que se usan es de  $d_E = 99 \left( \frac{Wh}{kg} \right)$ . Esta densidad de energía es característica de las baterías de ion-litio. Las baterías de plomo tradicionales tienen la tercera parte de densidad.
- La TARA que se ofrece por los fabricantes es únicamente peso de chasis y carrocería. En esta masa no se incluye la de las baterías, ya que se considera que es el combustible de los vehículos de tracción eléctrica. En los vehículos tradicionales de combustión la TARA no incluye tampoco la masa de combustible.
- Los tres trayectos tienen unas distancias muy similares de 170 km. En estas distancias no se tiene en cuenta el tiempo que le cuesta coger la velocidad constante ya que representa una cantidad muy pequeña de tiempo y no influye significativamente. El tiempo de aceleración como máximo es de sesenta segundos. De la misma manera, el tiempo que le cuesta decelerar también se



desprecia suponiendo que este es también muy pequeño y próximo a los sesenta segundos.

- La pendiente, aunque sea negativa, mientras la resistencia al avance sea positiva se sigue considerando la energía consumida en ese tramo con esa pendiente.
- La velocidad del viento se considera nula, ya que en según qué dirección vaya provoca diferentes reacciones en el camión haciendo que su gasto de energía varíe. Con esto se tiene una resistencia aerodinámica constante en el trayecto.

## 4. Metodología

En la metodología se incluye toda la formulación necesaria para poder comprender bien los resultados obtenidos. Esta formulación es la que se aplicará para realizar los cálculos tanto con el software Excel como con el programa del departamento de vehículos.

### 4.1 Formulación

#### 4.1.1 Resistencia al avance

En primer lugar, se va a hablar de la resistencia al avance (López, 2013). Esta resistencia es la encargada del consumo de energía que vamos a tener y por consiguiente del peso de las baterías. Tiene las siguientes tres componentes.

#### Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica es la debida al rozamiento con el aire a altas velocidades, es la fuerza que hay que vencer para moverse sin contar el rozamiento con el suelo y con pendiente nula. Esta resistencia depende de las dimensiones de la cara frontal del vehículo, de la forma que tenga esta y como pasan las líneas de flujo de aire sobre ella. También es muy influyente las condiciones del aire, tales como la temperatura, presión, densidad, su ordenación, las trayectorias que sigue y demás.

La forma que se tiene de poder calcular esta resistencia es múltiple, pero la que vamos a utilizar es la siguiente:

$$R_a = \frac{1}{16} * C_x * S * v^2$$

Esta forma de calcular es una forma aproximada, pero se acerca mucho a la real. La real es prácticamente imposible de saber ya que no se conocen las condiciones de temperatura y presión del aire en cada punto del trayecto.

$C_x$  es el coeficiente de penetración aerodinámica.

$S$  es la superficie de la cara frontal del camión.

Como se puede observar la resistencia aerodinámica va con la velocidad del camión al cuadrado. Esta es una forma parabólica que no se parece a la forma lineal, a velocidades altas la resistencia se hace muy grande.

## Resistencia a la rodadura

Esta resistencia es debida a la rodadura y también producida por la deformación del neumático. La resistencia a la rodadura depende de la masa del vehículo, del tipo de firme que haya, del tipo de neumáticos (perfil, número de capas de caucho, fibras de refuerzo) y en qué condiciones estén. Las condiciones del neumático dependen de la presión de inflado que llevan, de la temperatura, del desgaste sufrido y del tipo de tracción.

Esta resistencia se calcula de la siguiente manera:

$$R_r = P * \mu$$

$\mu$  es el coeficiente de rodadura, en este caso y para la velocidad de 90 km/h que vamos a analizar, como se ha comentado en las hipótesis, se ha considerado un  $\mu = 0,012$  (Wong, 2001). Este coeficiente no permanece constante, sino que varía ligeramente con la velocidad y disminuye con la presión de inflado.

$P$  es la masa del vehículo, para los cálculos esta se compone de la TARA y la carga útil.

## Resistencia a pendientes

Esta resistencia surge cuando hay que vencer una cierta pendiente que hay en un tramo de la carretera. La resistencia a las pendientes se calcula de la siguiente forma:

$$R_p = P * \sin(\alpha) = P * n$$

$P$  es la masa del vehículo, para los cálculos esta se compone de la TARA y la carga útil.

El seno de  $\alpha$  se pone porque representa la altura que se salva, se calcula así:

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

### 4.1.2 Potencia requerida

En segundo lugar, vamos a ver como se calcula la potencia a instalar en función de la resistencia al avance que se acaba de comentar y hay que vencer.

- $1 \text{ kg} = 9.8 \text{ N}$  Esto es necesario ya que nosotros hemos obtenido la resistencia al avance en kilogramos (kilopondios).
- Se va a aplicar una serie de rendimientos, de esta manera consideramos los esfuerzos.
- La potencia es el producto de una fuerza por la velocidad.

Con todos estos aspectos comentados la potencia solicitada va a ser:

$$P_w = \frac{R_T * v}{\eta_T * \eta_E}$$

$\eta_T$  representa el rendimiento de toda la transmisión y demás elementos mecánicos.

$\eta_E$  representa el rendimiento del motor eléctrico.

De la forma que está expresada la fórmula de la potencia solicitada hay que poner todas las magnitudes en unidades del Sistema Internacional. Si se ha puesto la resistencia al avance en kilogramos queda así.

$$P_w = \frac{R_T * v * 9,8}{\eta_T * \eta_E} = \frac{R_T * v * 735}{\eta_T * \eta_E * 75} [W]$$

De esta manera ya podemos saber la potencia que se solicita, además esta está ya mayorada al haber considerado los dos tipos de rendimientos.

Como comentario el rendimiento de los motores eléctricos es alto, ya que se producen en él muy pocas pérdidas.

Otro aspecto importante es que el rendimiento de la transmisión del camión es de toda su cadena cinemática.

#### 4.1.3 Energía consumida

La potencia que se ha obtenido para cada tramo de trayecto ahora se va a transformar en energía. La energía es el producto de la potencia con el tiempo.

$$E = P * t [Ws]$$

En los cálculos realizados tramo a tramo la potencia y el tiempo es de cada tramo particular, de esta manera calculamos la energía consumida en cada tramo o en un recorrido entero si se considera la pendiente constante.

La energía obtenida ha de pasarse a tiempo en horas, con lo que usando factores de conversión queda:

$$E [Wh] = \frac{E [Ws]}{3600}$$

De esta manera, si se han calculado las energías por tramo o por recorrido completo, se puede hacer el sumatorio de las energías obtenidas y obtener la energía consumida total. Esta energía total es la que hay que tener en las baterías como mínimo para poder cumplir con la distancia del recorrido a la velocidad solicitada, con las pendientes calculadas y el coeficiente de rodadura usado.

#### 4.1.4 Peso de las baterías

Tras haber obtenido la energía que se necesita para hacer el recorrido que se ha escogido, se pasa a calcular la masa de las baterías.

Las baterías existentes en el mercado están hechas de diferentes materiales y con diferentes propiedades (Domínguez, 2018):

- Batería de plomo y ácido. El ánodo de este tipo de baterías es el plomo, el cátodo es el dióxido de plomo y el electrolito es ácido sulfúrico disuelto en agua. La principal característica es que posee una densidad de energía  $dE = 33 - 42 \text{ Wh/kg}$ .
- Batería de ion litio. Estas baterías poseen una densidad de energía  $dE = 99 \text{ Wh/kg}$ .

Tras conocer la densidad de energía de las baterías de litio que vamos a usar pasamos a calcular el peso de las baterías de la siguiente manera:

$$P_{Bat} = \frac{E [\text{Wh}]}{dE \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right]}$$

De esta manera haciendo uso de la energía consumida y de la densidad de energía somos capaces de obtener el peso de las baterías. Como se puede observar el análisis dimensional es correcto. Las baterías resultantes son masa en kilogramos. Las baterías elegidas en este trabajo para obtener los resultados son baterías de litio.

#### 4.1.5 Diferentes cálculos para poder analizar y comparar resultados de masas y energías de baterías

1. La carga útil transportada es vital para poder comparar resultados.

$$Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{Bat}$$

Siendo MMA (Masa Máxima Autorizada) y TARA (masa del equipo fijo sin contar carga útil ni de baterías).

2. Ratio entre el peso de baterías y la MMA.

$$\text{Ratio 1} = \frac{P_{Bat}}{MMA} [\%]$$

3. Ratio entre el peso de baterías y la carga útil a poder ser transportada.

$$\text{Ratio 2} = \frac{P_{Bat}}{Q_{\text{útil}}} [\%]$$

4. Autonomía específica. Representa la distancia recorrida por cada kilogramo de batería.

$$\text{Autonomía específica} = \frac{\text{Autonomía} \left[ \frac{\text{km}}{\text{kg}} \right]}{P_{Bat}}$$

5. Consumo específico. Representa la energía consumida por cada tonelada de MMA y kilómetro recorrido.

$$\text{Consumo específico} = \frac{E [kWh]}{MMA[t] * Distancia[km]}$$

6. Consumo específico, Se expresa ahora en energía consumida cada 100 kilómetros recorridos.

$$\text{Consumo específico por cada 100km} = \frac{E [kWh]}{100 \text{ km recorridos}}$$

Con estos cálculos se podrá analizar y comparar los resultados obteniendo conclusiones a cerca de las prestaciones de los dos camiones que se van a analizar.

## 4.2 Análisis con software de vehículos eléctricos

Este programa informático es un software específico de vehículos eléctricos del departamento de Ingeniería Mecánica.

Este programa tiene múltiples funciones para hallar cálculos de estabilidad del vehículo (por ejemplo, máxima aceleración), de prestaciones (por ejemplo, para la relación de transmisión, resistencias y potencia necesaria) y dimensionamiento energético para el cálculo de baterías.

Esta última función es la que a nosotros nos importa. Con ella se va a poder calcular la masa de las baterías que se necesitan, así como su energía. Calcular el dimensionamiento de las baterías con este software no es del todo preciso ya que este considera la pendiente durante todo el trayecto constante y nosotros no tenemos eso, hay tramos con cierta pendiente y otros con nula. Aunque no sea del todo correcto los resultados con este software son bastante aproximados a los que se obtendrán con el Excel. Además, estos resultados sirven para una primera aproximación.

Los datos que hay que incluir en este programa son:

- Peso. Este representa la TARA + carga útil.
- Coeficiente de rodadura para su resistencia.
- Coeficiente aerodinámico para su resistencia.
- Rendimiento de la transmisión del camión.
- Rendimiento del motor eléctrico.
- Pendiente entre punto final e inicial (promedio).
- Autonomía deseada.
- Altura de la cara frontal del camión.
- Anchura de la cara frontal del camión.
- Tensión en bornes de la batería.
- Densidad de energía de las baterías para obtener la masa a través de la energía.

- Curva carga-capacidad de la batería.

Los datos que hay que incluir del ciclo de funcionamiento son los siguientes:

- Tiempo total del ciclo.
- Tiempo de descarga del ciclo.
- Distancia del ciclo.

Los resultados que se obtienen se han hecho a partir de toda la formulación que se ha expuesto. Estos son los siguientes:

- Número de ciclos.
- Energía total solicitada.
- Tiempo de descarga de la batería.
- Peso de la batería.
- Porcentaje de capacidad de descarga en 5 horas.
- Capacidad de la batería.
- Porcentaje representado por el peso de la batería sobre el del vehículo.
- Consumo específico. Representa la energía consumida por tonelada y por kilómetro.

### 4.3 Análisis con software Microsoft Excel

Excel es una aplicación de hojas de cálculo (Hudson, 2017). Tiene múltiples aplicaciones financieras, de fórmulas, para hacer gráficos y demás.

El Excel tiene su origen en 1982, aunque no fue hasta 1987 que sacó Microsoft el Excel para Windows. Esta alianza hizo que el software mejorara incluyendo más opciones.

Con el Excel se incluyen todos los mismos datos que en el programa del departamento a excepción de la pendiente. Para la pendiente se corta el trayecto en tramos de 10 kilómetros con el fin de obtener la pendiente más detallada por pequeños tramos. Usando estos tramos se ha conseguido representar fielmente el perfil de las diferentes carreteras.

Con el Excel obtenemos finalmente tras realizar todos los cálculos de la formulación, una energía necesaria para cumplir con ese trayecto y el peso de baterías. Este peso de baterías es más ajustado a la realidad ya que este está hecho con la pendiente más real. Hay tramos con pendiente positiva, con negativa y con nula.

## 5. Análisis de resultados

A continuación, paso a paso se va a mostrar la resolución numérica con todos sus resultados. En primer lugar, se van a mostrar los diferentes tipos de escenarios con los que se va a trabajar.

### 5.1 Perfiles de carretera

Como se ha comentado anteriormente se han usado tres tipos de recorrido (Zaragoza-Logroño, Zaragoza-Teruel y La Ampolla-Barcelona) (Google Earth, 2019), con sus ida y vuelta, ahora se van a ver para cada trayecto los perfiles de pendientes, así como su uso en los cálculos siguientes. Los tres trayectos tienen la misma distancia, 170 km.

Para los cálculos que se van a hacer con el programa del departamento la pendiente se hace usando sólo la cota de inicio y final de trayecto. Con esto se consigue una pendiente aproximada (pendiente promedio) que no es realista, ya que como se va a ver es muy variante por tramos.

Para los cálculos con Excel en cambio sí que se va a usar los perfiles de carreteras que se van a ir mostrando a continuación, con pequeños tramos de 10 kilómetros, en los que se consigue mostrar más detalladamente cual es la pendiente. De esta manera la resistencia a las pendientes sufre también variaciones cada 10 kilómetros.

- A) El primer trayecto es Zaragoza – Logroño. Este se caracteriza por ir siguiendo el río Ebro. Este es un perfil con muy poca pendiente, pero con la suficiente para ver cómo influye la resistencia a las pendientes. Este trayecto es muy común en las empresas de logística, ya que forma parte de la conexión de la costa mediterránea con la cornisa cantábrica y con Castilla. Zaragoza desde hace ya bastantes décadas se ha erigido como en núcleo de conexión para las empresas entre estas zonas de España.

El trayecto con origen Zaragoza y destino Logroño es este:

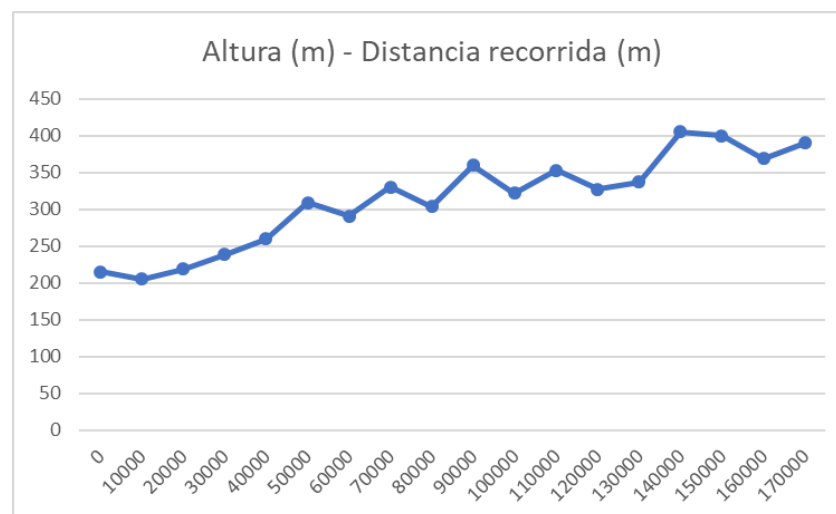


Ilustración 1 Perfil Zaragoza-Logroño

Este será el perfil que se usará en los cálculos de Excel, en los del programa del departamento se hará la pendiente promedio de la siguiente manera:

$$Pendiente_{Zgz-Log} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{390 - 215}{170000} * 100 = 0,1\%$$

El trayecto con origen Logroño y destino Zaragoza es este:

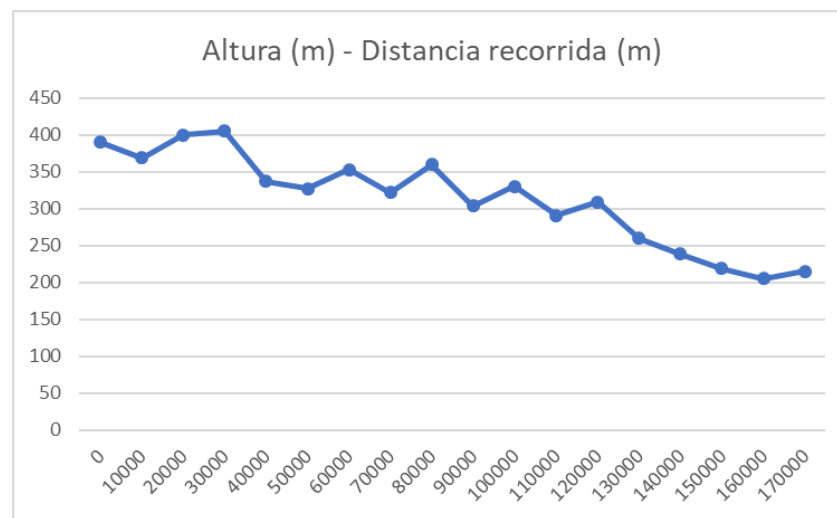


Ilustración 2 Perfil Logroño-Zaragoza

Este perfil se usará en los cálculos de Excel, en los del programa del departamento se hará la pendiente promedio de la siguiente manera:

$$Pendiente_{Log-Zgz} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{215 - 390}{170000} * 100 = -0,1\%$$

Como la pendiente es negativa y el programa no lo admite, se supondrá para ello como pendiente nula.

- B) El segundo trayecto con el que se va a experimentar es el de Zaragoza – Teruel. Este se caracteriza por tener un perfil muy escarpado como veremos ahora. Además, este trayecto forma parte del corredor que une el Levante con el norte de España, lo que lo hace muy importante ya que los grandes puertos de mercancías se encuentran en el Levante.

El trayecto con origen Zaragoza y destino Teruel tiene un perfil de altura respecto a distancia recorrida:



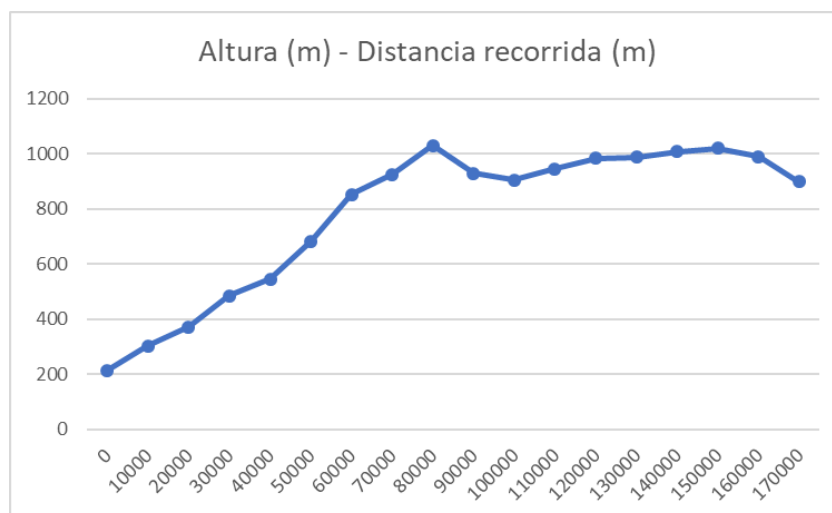


Ilustración 3 Perfil Zaragoza-Teruel

Este será el perfil que se usará en los cálculos de Excel. En los cálculos del programa del departamento se hará la pendiente promedio en dos partes, para no perder la pendiente que queda por encima de la recta que une inicio y fin. El primer tramo es de 80 kilómetros y el segundo de 90 kilómetros.

$$Pendiente'_{Zgz-Teruel} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{1030 - 215}{80000} * 100 = 1,02\%$$

$$Pendiente''_{Zgz-Teruel} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{900 - 1030}{90000} * 100 = -0,144\%$$

Como la pendiente del segundo tramo es negativa y el programa no lo admite, se supondrá para ese tramo como pendiente nula.

Este recorrido es curioso y bueno para analizar ya que combina una gran pendiente en la mitad aproximadamente de su recorrido, el resto es prácticamente horizontal con una pequeña pendiente negativa (descenso). Esta gran pendiente de aproximadamente un 1% tiene una gran influencia en la resistencia a las pendientes, con lo que es perfecta para ver cómo influye en la energía consumida y por consiguiente en el peso de las baterías que calcularemos a continuación.

El trayecto inverso con origen Teruel y destino Zaragoza es el que se puede ver a continuación. En este caso lo que era una gran pendiente positiva se va a transformar en pendiente negativa, lo que tiene influencia haciendo que la resistencia a las pendientes sea negativa y se necesite menos energía.

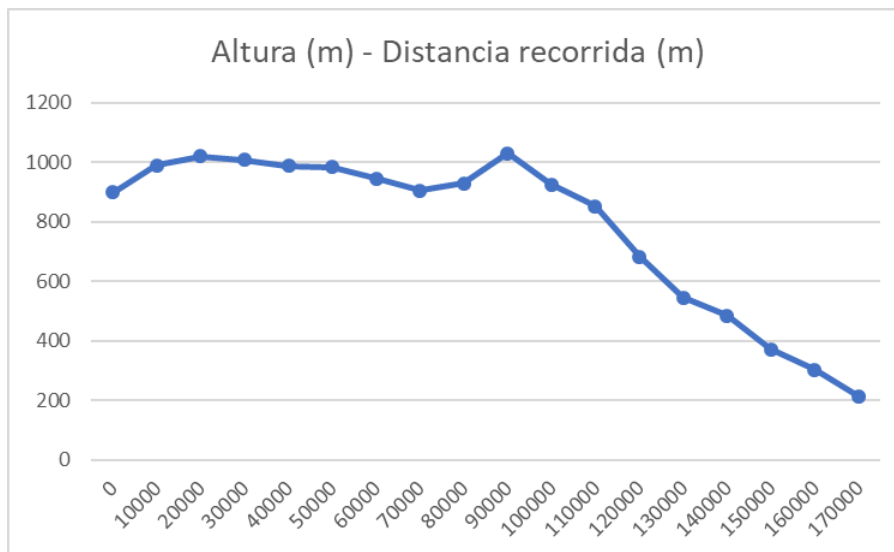


Ilustración 4 perfil Teruel-Zaragoza

Este será el perfil que se usará en los cálculos de Excel. Con el programa del departamento se hará la pendiente promedio en dos partes, para no perder la pendiente que queda por encima de la recta que une principio y fin. El primer tramo es de 90 kilómetros y el segundo de 80 kilómetros.

$$Pendiente'_{Zgz-Teruel} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{1030 - 900}{90000} * 100 = 0,144\%$$

$$Pendiente''_{Zgz-Teruel} = \frac{cota\ final - cota\ inicial}{distancia} * 100 = \frac{215 - 1030}{80000} * 100 = -1,02\%$$

Como la pendiente del segundo tramo es negativa y el programa no lo admite, se supondrá para ese tramo como pendiente nula.

- C) El tercer trayecto con el que se va a experimentar es el de La Ampolla de Mar – Barcelona. Este recorrido tiene como característica principal que tiene pendiente nula, con lo que ya tenemos tres escenarios con diferentes tipos de pendientes para poder analizarlos y ver que variaciones de energía requerida y peso de baterías obtenemos.

Este tipo de trayecto es muy útil, ya que los fabricantes de vehículos aportan las fichas técnicas de sus camiones con escenarios con pendiente nula. Los fabricantes lo hacen porque así el peso de las baterías disminuye para una misma autonomía y con ello aumenta la carga útil que puede ser transportada.

Este recorrido al tener pendiente nula no es necesario analizar la ida y la vuelta, ya que los resultados son los mismos.

El trayecto con origen La Ampolla de Mar y destino Barcelona es este:

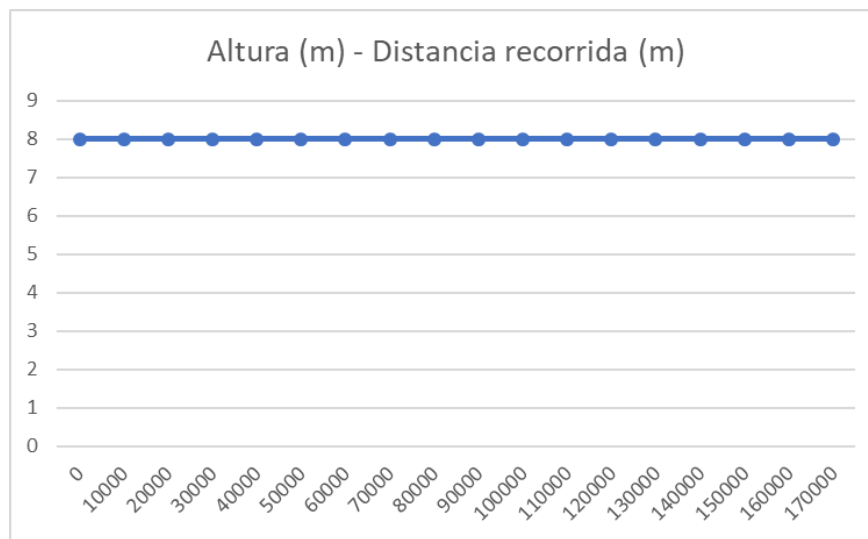


Ilustración 5 Perfil La Ampolla de Mar-Barcelona

## 5.2 Cuestiones previas al cálculo con software del departamento de IM

### Curva carga – capacidad

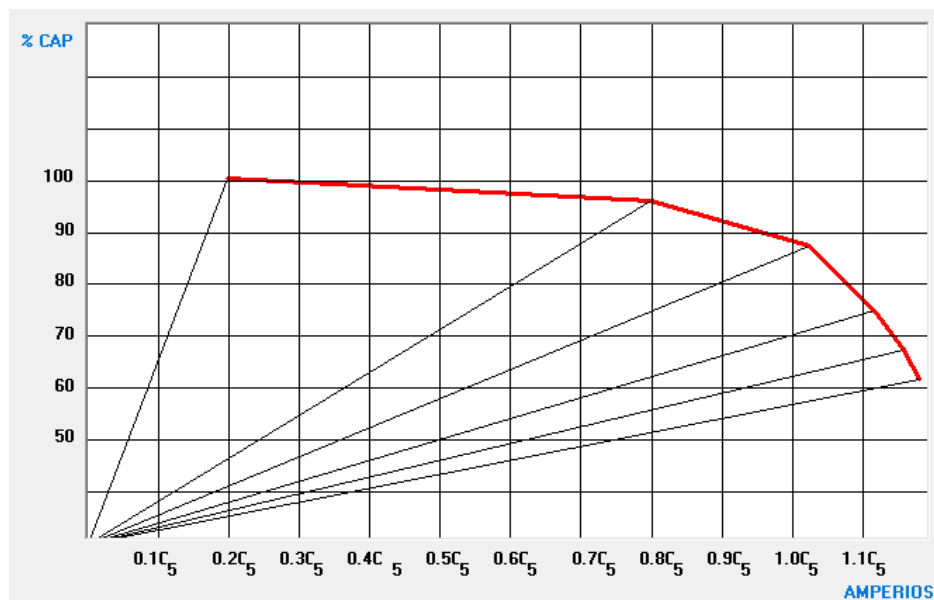


Ilustración 6 Curva carga-capacidad

Esta curva es necesaria para poder obtener resultados con el programa. Representa en el eje x la intensidad de salida de la batería y en el eje y la capacidad de la batería. En este trabajo se tiene un tiempo de trayecto de 1,88 h como se verá a continuación, lo

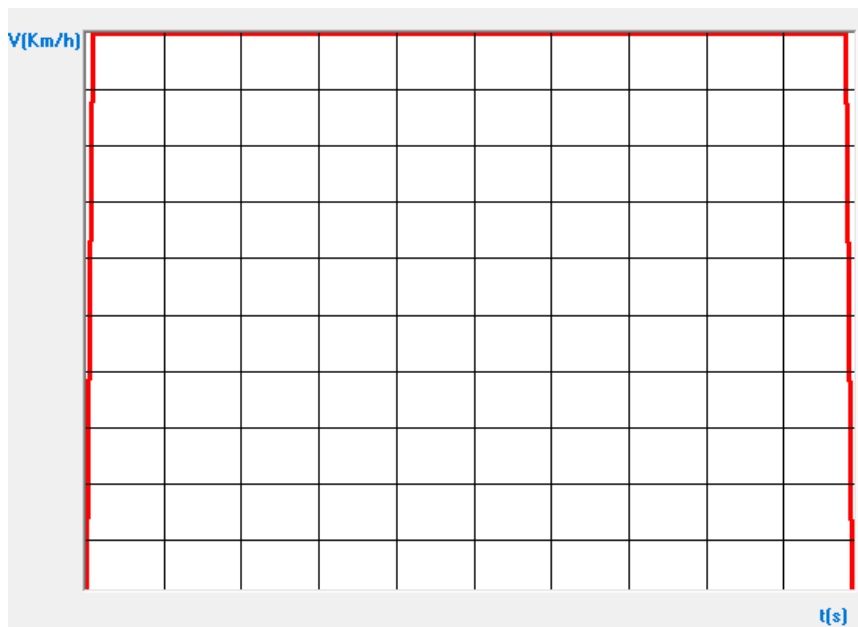
que hace que se trabaje en la zona aproximadamente recta del principio en la que no disminuye considerablemente el voltaje. Esto es muy importante, ya que si se desciende del voltaje nominal del motor este trabaja a menos revoluciones y con menos par motor.

### Ciclo de funcionamiento

El ciclo de funcionamiento es igual para todos los escenarios, ya que la velocidad del camión permanece constante en todos ellos. Se supone como tiempo de aceleración 60 segundos y de frenada también 60 segundos. El tiempo total del trayecto se calcula de la siguiente manera:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{170 \text{ (km)}}{90 \text{ (km/h)}} = 1,88 \text{ h} = 6800 \text{ s}$$

Con lo que el ciclo de funcionamiento que se ha adjuntado al programa es el siguiente.



*Ilustración 7 Ciclo de funcionamiento*

### 5.3 Cuestiones previas al cálculo con Microsoft Excel

Con Excel se analiza el trayecto cada 10 kilómetros, con lo que hay que saber el tiempo que transcurre en cada tramo. Al analizar tramos en vez del recorrido completo de vez se consigue una mayor aproximación de resultados al considerar mejor el perfil.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{10}{90} = 0,111 \text{ h} = 400 \text{ s}$$

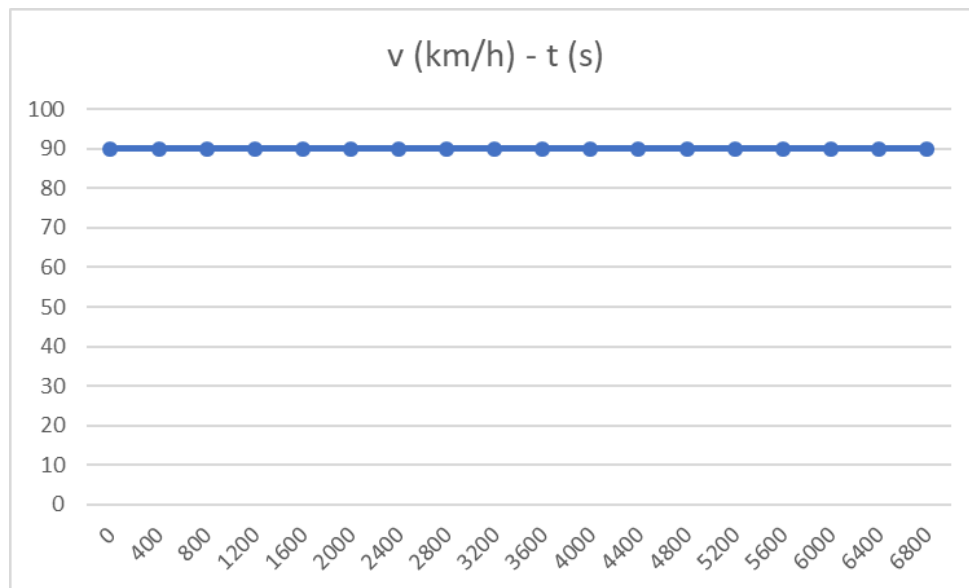


Ilustración 8 Velocidad respecto a tiempo en cálculos de Excel

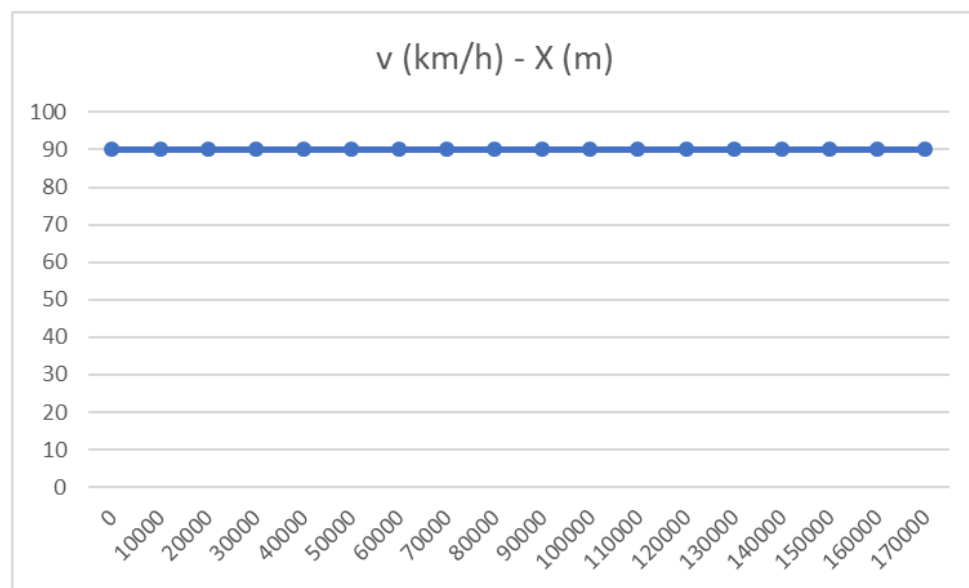


Ilustración 9 Velocidad respecto a la distancia por tramos (para Excel)

Como se puede observar en los cálculos de Excel no se ha puesto tiempo de aceleración y frenada, ya que representa muy poco tiempo sobre el total y no influye en el cálculo de la energía necesaria. Los triángulos de aceleración y deceleración serían inapreciables, además en el de deceleración no se consumiría energía. En estos dos gráficos se relaciona la velocidad con el tiempo y la posición, en ellos se puede observar que la velocidad permanece constante durante todo el trayecto. Esto como se ha comentado es una buena aproximación al circular por autovías. En las autovías normalmente un camión va a velocidad de crucero, la cual es la más cómoda tanto para el conductor como para el ritmo de marcha del camión.

## 5.4 Cuadro resumen de los escenarios y nomenclatura

Escenario	Característica	Ruta	Abreviatura	Pendiente promedio
Escenario 1	Pendiente poco pronunciada	Zaragoza-Logroño	E1s	0,10%
		Logroño-Zaragoza	E1b	-0,10%
Escenario 2	Pendiente pronunciada debido a escenario montañoso	Zaragoza-Teruel	E2s	1,02% (80km) -0,144% (90km)
		Teruel-Zaragoza	E2b	0,144% (90km) -1,02% (80km)
Escenario 3	Pendiente nula a lo largo de todo el recorrido	La Ampolla-Barcelona	E3	0%

*Ilustración 10 Tipos de escenarios*

Esta tabla resume los escenarios y ayuda a nombrarlos con las abreviaturas que incluye.

## 5.5 Cálculos camión MAN TGM 26.360E

A continuación, se van a realizar los cálculos de dimensionamiento de baterías a partir del cálculo energético. La tabla resumen (Calleja, 2019) del camión es:

MAN TGM 26.360 E	
Tipo	6x2
MMA	26000 kg
TARA	14710 kg
Coeficiente rodadura	0,012
Coeficiente aerodinámico	0,6
Rendimiento transmisión	0,85
Rendimiento motor	0,95
Autonomía del fabricante	180 km
Capacidad de baterías del fabricante	185 kWh
Tipo batería	ión litio
Densidad de energía	99 Wh/kg
Tensión del motor	600 V
Potencia máxima	265 kW
Par máximo	2760 Nm
Altura de cabina	2,946 m
Anchura de cabina	2,24 m

*Ilustración 11 Ficha MAN TGM 26.360 E*

Este camión es del fabricante alemán MAN. MAN es conocido por la producción de camiones y autobuses desde que en 1906 Rudolf Diesel desarrollara allí su prototipo de motor. MAN tradicionalmente era fabricante de acero del Rhur, en el siglo XX fue cambiando su actividad a la de producción de vehículos y demás maquinaria industrial. También al diseño de plantas industriales.

Actualmente MAN es el principal vendedor de vehículo industrial en Europa con un 88% de cuota de mercado, con una facturación media anual de 15 millones de euros. Desde hace varios años está intentado expandirse hacia nuevos mercados en Asia, Estados Unidos y Polonia. MAN está siendo el pionero en intentar electrificar sus flotas de vehículos, innovando en el uso de las energías renovables.

### 5.5.1 Cálculos del MAN a plena carga con programa del departamento

La masa que se adjunta como dato en el programa de dimensionamiento energético es la suma de la TARA y la carga útil, de esta manera con el resultado de la batería ha de cumplirse que entre TARA, carga útil y peso de baterías no supere la MMA. Esto se ha conseguido mediante un proceso iterativo.

#### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

En este trayecto de 170 kilómetros se ha incluido una pendiente promedio del 0.1%, tal y como se calculó anteriormente. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente imagen de la resolución.

Dimensionamiento Energético

**DATOS**

Peso (Kg).  $P$  22786

Coefficiente de rodadura.  $\mu$  0.012

Coefficiente aerodinámico.  $C_x$  0.6

Rendimiento de la transmisión.  $\eta_t$  0.85

Rendimiento del motor eléctrico.  $\eta_e$  0.95

Pendiente (%).  $n$  0.1

Autonomía (m).  $A$  170000

Altura del vehículo (m).  $a$  2.946

Anchura del vehículo (m).  $b$  2.24

Tensión del motor eléctrico (v).  $V$  600

Densidad energía batería (wh/Kg).  $\rho$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

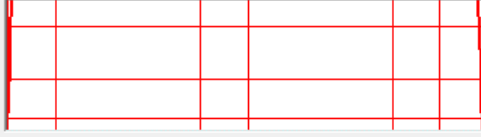
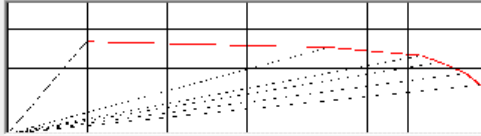
**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s).  $T$  6800

Tiempo de descarga del ciclo (s).  $T_d$  6739

Distancia del ciclo (m).  $D$  170000

Editor Ciclo de funcionamiento

**RESULTADOS**

Número de ciclos 1.00

E aceleración (Kws) 3758.98

E cruce (Kws) 51186.10

E Ciclo (Kws) 54945.00

E Total (Kwh) 237.48

Tiempo de descarga (min) 112.32

Peso de la Batería (Kg) 3212.24

% de la Capacidad de descarga en 5 h 82.98

Capacidad de la Batería (Ah) 395.81

% Peso Batería sobre peso vehículo 14.10

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 61.30

Calcular Salir

Ilustración 12 Dimensionamiento energético Zaragoza-Logroño camión MAN

Como se puede observar la autonomía que se ha puesto como dato es la distancia del ciclo, por eso sale de resultado 1 ciclo. Para el trayecto E1s se ha obtenido una masa de batería a pendiente promedio de 0.1% de 3212 kg. La carga útil que podrá transportarse se calcula como la masa de los datos y restándole la TARA, o también así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8078 \text{ kg}$ . La energía total consumida son 237.5 kWh. El peso de la batería representa sobre el total un 14.1%.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

En este trayecto de 170 kilómetros se ha incluido una pendiente promedio del 0%, tal y como se calculó anteriormente ya que el programa no admite pendiente negativa. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente fotografía de la resolución.

Dimensionamiento Energético

**DATOS**

Peso (Kg).	P	22947
Coefficiente de rodadura.	$\mu$	0.012
Coefficiente aerodinámico.	$C_x$	0.6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0.85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0.95
Pendiente (%).	n	0
Autonomía (m).	A	170000
Altura del vehículo (m).	a	2.946
Anchura del vehículo (m).	b	2.24
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	$\rho$	99

[Editor Curva Carga-Capacidad](#)

**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s).	T	6800
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	6739
Distancia del ciclo (m).	D	170000

[Editor Ciclo de funcionamiento](#)

**RESULTADOS**

Número de ciclos	1.00
E aceleración (Kws)	3572.09
E cruce (Kws)	08867.50
E Ciclo (Kws)	12439.60
E Total (Kwh)	225.68
Tiempo de descarga (min)	112.32
Peso de la Batería (Kg)	3052.54
% de la Capacidad de descarga en 5 h	82.98
Capacidad de la Batería (Ah)	376.13
% Peso Batería sobre peso vehículo	13.30
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	57.85

[Calcular](#) [Salir](#)

Ilustración 13 Dimensionamiento energético Logroño-Zaragoza camión MAN

Como se puede observar la autonomía que se ha puesto como dato es la distancia del ciclo, por eso sale de resultado 1 ciclo. Ahora para el trayecto inverso, E1b se ha obtenido una masa de batería con la pendiente nula como se ha comentado de 3053 kg. La carga útil que poder ser transportada es la diferencia entre la masa de los datos y la TARA, también se obtiene la carga útil así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8237 \text{ kg}$ . La energía total consumida son 225.7 kWh. El peso de la batería representa sobre el total un 13.3%.



### 5.5.2 Cálculos del MAN a plena carga con Excel

Como se ha comentado anteriormente estos cálculos son mucho más exactos por medir la pendiente por tramos de 10 kilómetros. Los datos técnicos del camión MAN comunes para todos estos escenarios son los que ya se han comentado y se muestran a continuación como resumen.

Camión MAN		
Peso	Incluirá TARA+Carga útil	kg
Cx	0,6	
Altura	2,946	m
Anchura	2,24	m
Rendimiento mecánico	0,85	
Rendimiento eléctrico	0,95	
dE	99	Wh/kg
Voltaje	600	V
Coeficiente de rodadura	0,012	
k neumáticos radiales	0,8	

Ilustración 14 Datos técnicos MAN TGM 26.360E para Excel

### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

La tabla siguiente va a mostrar las cotas de los diferentes puntos de los tramos de la carretera. A partir de ellas se saca la pendiente de cada tramo.

X (km)	X (m)	Y (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	v (km/h)	v (m/s)	t (s)	Pendiente	Pendiente (%)
0	0	215	0	90	25	0	0	0
10	10000	205	0	90	25	400	-0,001	-0,1
20	20000	219	0	90	25	800	0,0014	0,14
30	30000	239	0	90	25	1200	0,002	0,2
40	40000	260	0	90	25	1600	0,0021	0,21
50	50000	309	0	90	25	2000	0,0049	0,49
60	60000	291	0	90	25	2400	-0,0018	-0,18
70	70000	330	0	90	25	2800	0,0039	0,39
80	80000	304	0	90	25	3200	-0,0026	-0,26
90	90000	360	0	90	25	3600	0,0056	0,56
100	100000	322	0	90	25	4000	-0,0038	-0,38
110	110000	353	0	90	25	4400	0,0031	0,31
120	120000	327	0	90	25	4800	-0,0026	-0,26
130	130000	337	0	90	25	5200	0,001	0,1
140	140000	405	0	90	25	5600	0,0068	0,68
150	150000	400	0	90	25	6000	-0,0005	-0,05
160	160000	369	0	90	25	6400	-0,0031	-0,31
170	170000	390	0	90	25	6800	0,0021	0,21

Ilustración 15 Características del trayecto Zaragoza-Logroño

Esta tabla muestra las cotas de la carretera, así como las pendientes, también incluye las velocidades y los tiempos que hay entre un tramo y el siguiente. Como se lleva comentando, la velocidad a lo largo del trayecto es la misma sin variaciones. Es importante el detalle de que vamos a trabajar con velocidades en unidades del SI.

Otro comentario, esta tabla nos va a valer para los casos que se harán con el camión MAN en el escenario E1s con únicamente 4000 kilogramos de carga útil y en vacío. También sirve esta tabla para el mismo trayecto con el camión LION y todas sus variaciones de carga útil.

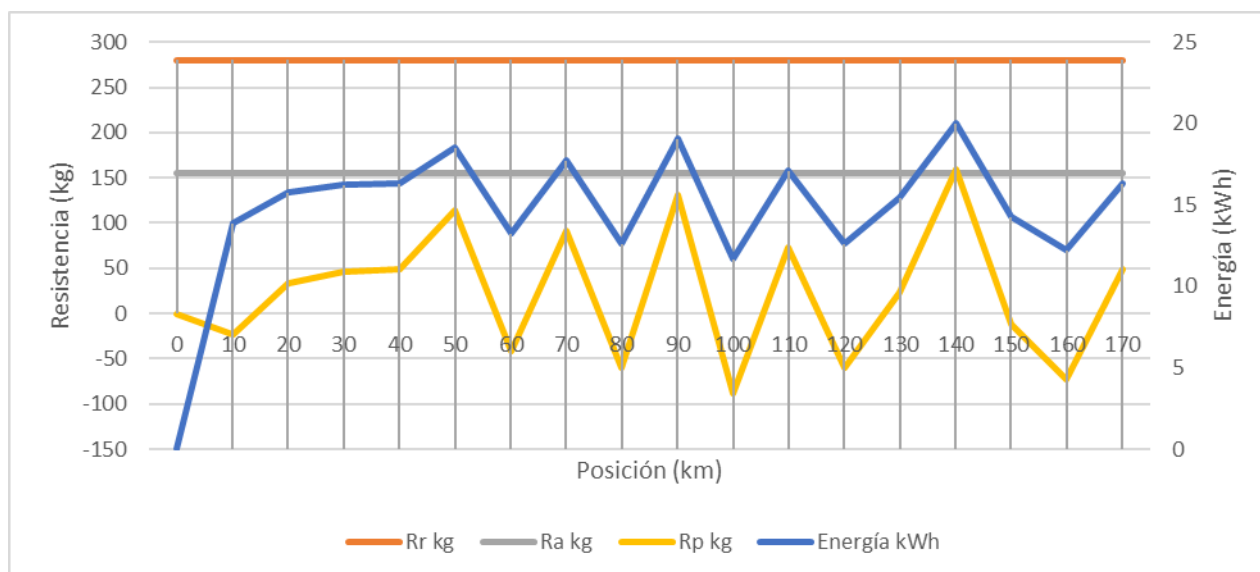
Con el camión MAN a plena carga para el escenario E1s se obtienen las siguientes resistencias, la potencia y la energía de cada tramo calculadas como vimos en el apartado de formulación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	280,128	154,665	0	131918,619	0
10	280,128	154,665	-23,344	124835,92	49934367,8
20	280,128	154,665	32,6816	141834,399	56733759,5
30	280,128	154,665	46,688	146084,019	58433607,43
40	280,128	154,665	49,0224	146792,289	58716915,42
50	280,128	154,665	114,3856	166623,848	66649539,07
60	280,128	154,665	-42,0192	119169,76	47667903,9
70	280,128	154,665	91,0416	159541,148	63816459,2
80	280,128	154,665	-60,6944	113503,6	45401440
90	280,128	154,665	130,7264	171581,737	68632694,98
100	280,128	154,665	-88,7072	105004,36	42001744,15
110	280,128	154,665	72,3664	153874,988	61549995,29
120	280,128	154,665	-60,6944	113503,6	45401440
130	280,128	154,665	23,344	139001,319	55600527,55
140	280,128	154,665	158,7392	180080,977	72032390,84
150	280,128	154,665	-11,672	128377,269	51350907,74
160	280,128	154,665	-72,3664	109962,25	43984900,06
170	280,128	154,665	49,0224	146792,289	58716915,42
				Sumatorio	946625508,359133 Ws
		Energía	262951,53	Wh	
		Ebaterías	262951,53	Wh	
		Peso	2656,07606	kg	

Ilustración 16 Resultados MAN Zaragoza-Logroño

Para este trayecto de 170 kilómetros calculando las resistencias, la potencia necesaria en cada tramo y la energía se obtiene el peso de las baterías necesarias. Este peso de las baterías se ha obtenido de manera iterativa, teniéndose que cumplir que la P (TARA+ Carga útil) de los datos sumada a la masa de baterías sea igual a la MMA. La masa de las baterías es de 2656 kilogramos obtenido con la densidad de energía siendo la energía necesaria 263 kWh. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8634 \text{ kg}$ . Estos resultados se ajustan más a la realidad habiendo tramos en que la resistencia a la pendiente es negativa y favorece el avance.

A continuación, se va a ver la evolución de las tres resistencias con la energía consumida por los tramos de diez kilómetros.



*Ilustración 17 Evolución de resistencia con la energía para MAN en Zaragoza-Logroño*

La resistencia a las pendientes es la que marca el gasto de energía en cada tramo. Se observa que la resistencia aerodinámica y de rodadura son constantes.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

La tabla siguiente va a mostrar las cotas de los diferentes puntos de los tramos de la carretera. A partir de ellas se saca la pendiente de cada tramo.

X (km)	X (m)	Y (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	v (km/h)	v (m/s)	t (s)	Pendiente	Pendiente (%)
0	0	390	0	90	25	0	0	0
10	10000	369	0	90	25	400	-0,0021	-0,21
20	20000	400	0	90	25	800	0,0031	0,31
30	30000	405	0	90	25	1200	0,0005	0,05
40	40000	337	0	90	25	1600	-0,0068	-0,68
50	50000	327	0	90	25	2000	-0,001	-0,1
60	60000	353	0	90	25	2400	0,0026	0,26
70	70000	322	0	90	25	2800	-0,0031	-0,31
80	80000	360	0	90	25	3200	0,0038	0,38
90	90000	304	0	90	25	3600	-0,0056	-0,56
100	100000	330	0	90	25	4000	0,0026	0,26
110	110000	291	0	90	25	4400	-0,0039	-0,39
120	120000	309	0	90	25	4800	0,0018	0,18
130	130000	260	0	90	25	5200	-0,0049	-0,49
140	140000	239	0	90	25	5600	-0,0021	-0,21
150	150000	219	0	90	25	6000	-0,002	-0,2
160	160000	205	0	90	25	6400	-0,0014	-0,14
170	170000	215	0	90	25	6800	0,001	0,1

*Ilustración 18 Características del trayecto Logroño-Zaragoza*

Esta tabla muestra las cotas de la carretera, así como las pendientes, también incluye las velocidades y los tiempos que hay entre un tramo y el siguiente. La velocidad a lo largo del trayecto es constante (en unidades SI).

Otro comentario, esta tabla nos va a valer para los casos que se harán con el camión MAN en el escenario E1b con únicamente 4000 kilogramos de carga útil y en vacío. También sirve esta tabla para el mismo trayecto con el camión LION y todas sus variaciones de carga útil.

Con el camión MAN a máxima carga útil en el E1b se obtienen las siguientes resistencias, la potencia y la energía de cada tramo calculadas como vimos en el apartado de formulación.

A continuación, cuando tengamos ya calculadas las energías de cada tramo se sumarán y ya se obtiene la energía total necesaria.

Finalmente, gracias a la densidad de energía del litio que es 99 Wh/kg se obtendrá el peso de baterías. Este es proceso que se ha seguido para el cálculo.

Como se comentó en las hipótesis de cálculo, aunque haya tramos con pendientes negativas, mientras su resistencia con las tres componentes sea positiva se tendrá en cuenta la energía de ese tramo para la batería. Esto es debido a que un camión con tanta masa ante una pequeña pendiente ni se inmuta.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	283,266	154,665	0	132870,706	0
10	283,266	154,665	-49,57155	117830,421	47132168,54
20	283,266	154,665	73,17705	155073,031	62029212,26
30	283,266	154,665	11,80275	136451,726	54580690,4
40	283,266	154,665	-160,5174	84168,8322	33667532,88
50	283,266	154,665	-23,6055	125708,666	50283466,25
60	283,266	154,665	61,3743	151492,011	60596804,21
70	283,266	154,665	-73,17705	110668,381	44267352,45
80	283,266	154,665	89,7009	160086,459	64034583,53
90	283,266	154,665	-132,1908	92763,2805	37105312,2
100	283,266	154,665	61,3743	151492,011	60596804,21
110	283,266	154,665	-92,06145	104938,749	41975499,57
120	283,266	154,665	42,4899	145762,378	58304951,33
130	283,266	154,665	-115,66695	97776,7087	39110683,47
140	283,266	154,665	-49,57155	117830,421	47132168,54
150	283,266	154,665	-47,211	118546,625	47418650,15
160	283,266	154,665	-33,0477	122843,85	49137539,81
170	283,266	154,665	23,6055	140032,746	56013098,45
				Sumatorio	853386518,266254 Ws
				Energía	237051,811 Wh
				Ebaterías	237051,811 Wh
				Peso	2394,46273 kg

Ilustración 19 Resultados del camión MAN con Excel en Logroño-Zaragoza

Para este trayecto de 170 kilómetros el peso de las baterías necesarias se ha obtenido de manera iterativa, teniéndose que cumplir que la P (TARA+ Carga útil) de los datos sumada a la masa de baterías sea igual a la MMA. La masa de las baterías es de 2394.5 kilogramos obtenido con la densidad de energía. La energía consumida es 237 kWh. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8895.5 \text{ kg}$ . Estos resultados se ajustan más a la realidad al considerar el perfil más completo de la carretera.

A continuación, se muestra la evolución de las tres resistencias con la energía consumida por tramos de diez kilómetros cada uno.

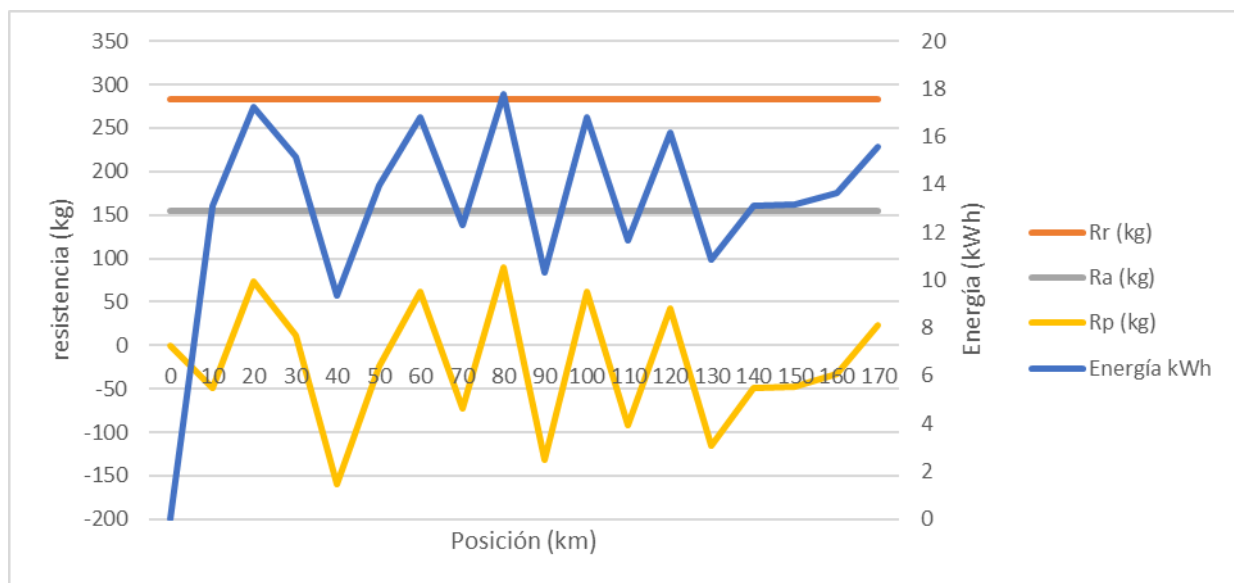


Ilustración 20 Evolución de las resistencias con la energía consumida

Como se puede ver la resistencia aerodinámica y de rodadura son constantes, mientras que la resistencia a las pendientes varía según si es pendiente positiva o negativa, siendo esta última la más significativa. Se observa que en el escenario E1b la resistencia a la pendiente vale menos que en el escenario E1s.

En el Anexo 1 se podrá ver el resto de los resultados para el camión MAN con el programa del departamento y mediante el software Excel con las tres combinaciones de carga útil (máxima, 4000kg y sólo TARA), para los diferentes tipos de escenarios.

## 5.6 Cálculos camión LION clase 8

A continuación, se van a realizar los cálculos de dimensionamiento de baterías a partir del cálculo energético. Lo primero que se muestra es una tabla resumen del camión LION (LION, 2019).

LION clase 8	
Tipo	6x2
MMA	24766 kg
TARA	11158 kg
Coeficiente rodadura	0,012
Coeficiente aerodinámico	0,6
Rendimiento transmisión	0,85
Rendimiento motor	0,95
Autonomía del fabricante	400 km
Capacidad de baterías del fabricante	480 kWh
Tipo batería	ión litio
Densidad de energía	99 Wh/kg
Tensión del motor	600 V
Potencia máxima	350 kW
Par máximo	3400 Nm
Altura de cabina	2,7178 m
Anchura de cabina	2,578 m

*Ilustración 21 Ficha técnica del camión LION clase 8*

La marca de vehículos LION está ubicada en Canadá, tiene su sede en Saint-Jérôme, Quebec. Su actividad es la investigación y construcción de vehículos pesados de tracción eléctrica. LION fabrica autobuses de carácter urbano y de carretera y camiones.

Se ha escogido este camión LION por la gran cantidad de datos técnicos que se tienen por parte del fabricante y porque tiene una MMA muy próxima a la del camión MAN, esto último lo hace muy útil ya que de esta manera se van a poder comparar los consumos y capacidades de carga útil de ambos.

### 5.6.1 Cálculos del LION a plena carga con programa del departamento

La masa que se adjunta como dato en el programa de dimensionamiento energético es la suma de la TARA y la carga útil, de esta manera con el resultado de la batería ha de cumplirse que entre TARA, carga útil y peso de baterías no supere la MMA. Esto se ha conseguido mediante un proceso iterativo. Las características de los trayectos son iguales a las del camión MAN. Estos resultados serán una primera aproximación.

## Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

En este trayecto de 170 kilómetros se ha incluido una pendiente promedio del 0.1%, tal y como se calculó anteriormente. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente imagen de la resolución como una primera aproximación que es muy útil.

Dimensionamiento Energético

**DATOS**

Peso (Kg).	P	21444
Coefficiente de rodadura.	$\mu$	0.012
Coefficiente aerodinámico.	$C_x$	0.6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0.85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0.95
Pendiente (%).	n	0.1
Autonomía (m).	A	170000
Altura del vehículo (m).	a	2.7178
Anchura del vehículo (m).	b	2.578
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	$\rho$	99

[Editor Curva Carga-Capacidad](#)

**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s).	T	6800
Tiempo de descarga del ciclo (s).	$T_d$	6739
Distancia del ciclo (m).	D	170000

[Editor Ciclo de funcionamiento](#)

**RESULTADOS**

Número de ciclos	1.00
E aceleración (Kws)	3670.98
E cruce (Kws)	31258.40
E Ciclo (Kws)	34929.40
E Total (Kwh)	231.92
Tiempo de descarga (min)	112.32
Peso de la Batería (Kg)	3321.82
% de la Capacidad de descarga en 5 h	78.36
Capacidad de la Batería (Ah)	386.54
% Peso Batería sobre peso vehículo	15.49
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	63.62

[Calcular](#) [Salir](#)

Ilustración 22 Cálculos camión LION trayecto Zaragoza-Logroño a máxima carga útil

Como se puede observar la autonomía que se ha puesto como dato es la distancia del ciclo, por eso sale de resultado 1 ciclo. Para el escenario E1s se ha obtenido una masa de batería a pendiente promedio de 0.1% de 3321.82 kg. La carga útil que podrá transportarse se calcula como la masa de los datos y restándole la TARA, o también así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10286.2 \text{ kg}$ . La energía total consumida son 231.92 kWh. Esta energía será la mínima necesaria para cumplir con el trayecto con carga útil máxima.

## Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

En este trayecto de 170 kilómetros se ha incluido una pendiente promedio del 0%, tal y como se calculó anteriormente ya que el programa no admite pendiente negativa. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente fotografía de la resolución como una primera aproximación que es muy útil.

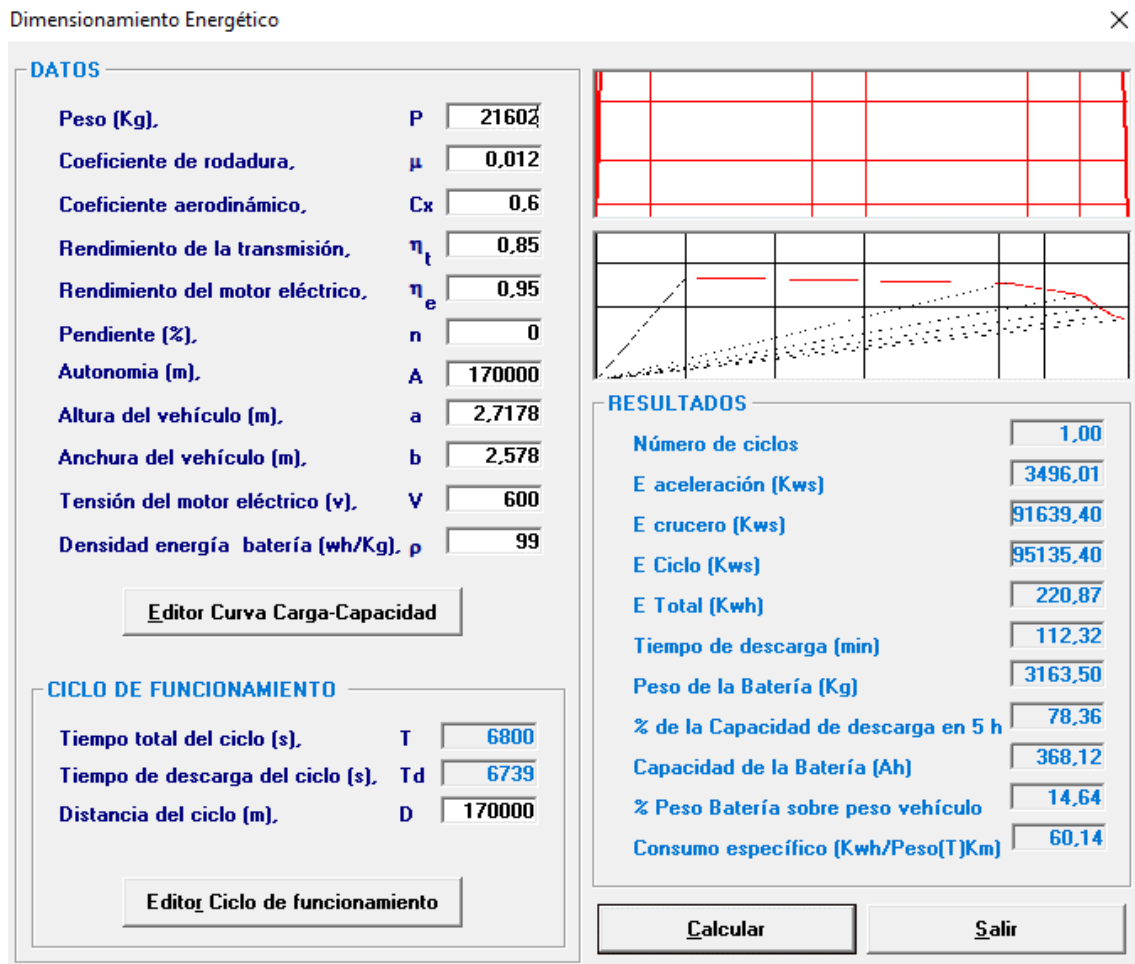


Ilustración 23 Resultados para camión LION en trayecto Logroño-Zaragoza con carga útil máxima

Como se puede observar la autonomía que se ha puesto como dato es la distancia del ciclo, por eso sale de resultado 1 ciclo. Para el escenario E1b se ha obtenido una masa de batería a pendiente nula de 3163.5 kg. La carga útil que podrá transportarse se calcula como la masa de los datos y restándole la TARA, o también así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10444.5 \text{ kg}$ . La energía total consumida son 220.87 kWh. Esta energía será la mínima necesaria para cumplir con el trayecto con carga útil máxima.

En la realidad existe en el escenario E1b un podo de descenso, lo que implica pendiente negativa y menor consumo que en el escenario E1s. Si se pudiera poner pendientes negativas obtendríamos una energía y peso de baterías inferiores.



### 5.6.2 Cálculos del LION a plena carga con Excel

Como se ha comentado anteriormente estos cálculos son mucho más exactos por medir la pendiente por tramos de 10 kilómetros. Las características de los diferentes trayectos siguen siendo las mismas que en el caso del camión MAN. Los datos técnicos del camión LION comunes son estos:

Camión LION		
Peso	Incluirá TARA+Carga útil	kg
Cx	0,6	
Altura	2,7178	m
Anchura	2,578	m
Rendimiento mecánico	0,85	
Rendimiento eléctrico	0,95	
dE	99	Wh/kg
Voltaje	600	V
Coeficiente de rodadura	0,012	
k neumáticos radiales	0,8	

*Ilustración 24 Ficha técnica resumen LION*

### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

Los resultados de energía y peso de baterías necesario para este trayecto son los que se van a ver a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	265,74	164,214572	0	130450,613	0
10	265,74	164,214572	-22,145	123731,697	49492678,69
20	265,74	164,214572	31,003	139857,096	55942838,44
30	265,74	164,214572	44,29	143888,446	57555378,38
40	265,74	164,214572	46,5045	144560,338	57824135,04
50	265,74	164,214572	108,5105	163373,304	65349321,42
60	265,74	164,214572	-39,861	118356,564	47342625,44
70	265,74	164,214572	86,3655	156654,387	62661754,85
80	265,74	164,214572	-57,577	112981,43	45192572,19
90	265,74	164,214572	124,012	168076,545	67230618,01
100	265,74	164,214572	-84,151	104918,731	41967492,31
110	265,74	164,214572	68,6495	151279,254	60511701,6
120	265,74	164,214572	-57,577	112981,43	45192572,19
130	265,74	164,214572	22,145	137169,53	54867811,82
140	265,74	164,214572	150,586	176139,245	70455697,89
150	265,74	164,214572	-11,0725	127091,155	50836461,97
160	265,74	164,214572	-68,6495	109621,972	43848788,91
170	265,74	164,214572	46,5045	144560,338	57824135,04
				Sumatorio	934096584,202 Ws
				Energía	259471,273 Wh
				Ebaterías	259471,273 Wh
				Peso	2620,92195 kg

*Ilustración 25 Resultados LION Zaragoza-Logroño con máxima carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto E1s es 259.5 kWh. Con la densidad de energía obtenemos un peso de baterías de 2620.9 kg. La carga útil máxima que se podrá llevar se obtiene así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10987.1 \text{ kg}$ . Al final de toda esta exposición de resultados habrá un cuadro resumen en el que se compararan resultados.

La variación de las resistencias con la energía consumida se muestra a continuación.

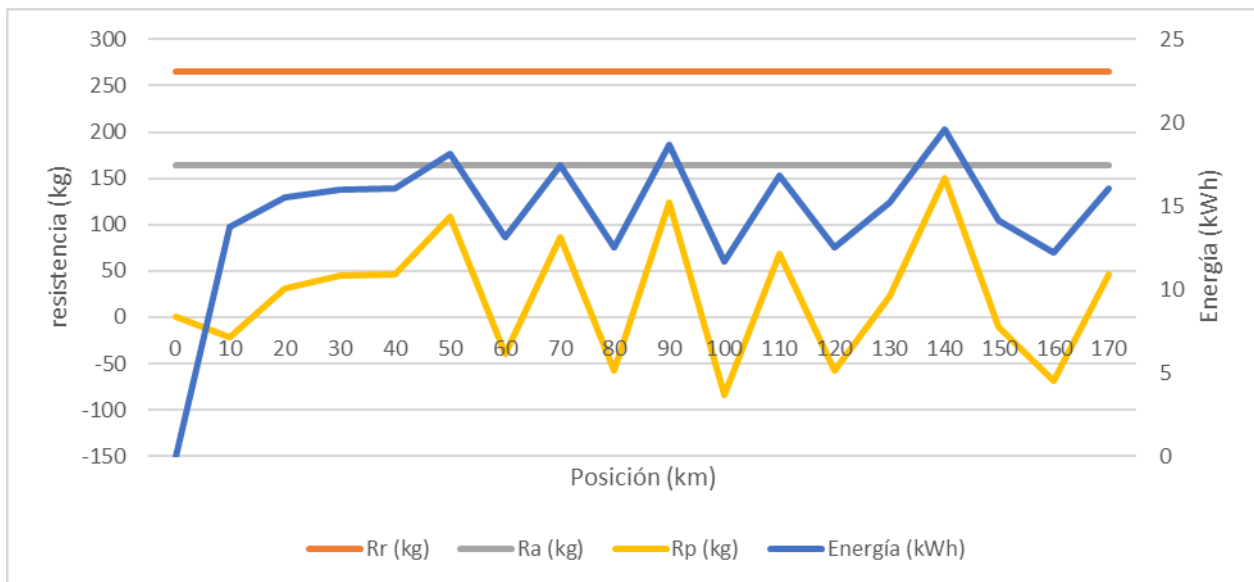


Ilustración 26 Variación de energía consumida con las de las tres resistencias

Se observa que la resistencia aerodinámica y de rodadura son constantes, la única que hace fluctuar la energía es la resistencia a las pendientes con variaciones de pendientes positivas y negativas.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

Los resultados de energía y peso de baterías necesario para este trayecto son los que se van a ver a continuación. Este escenario E1b es distinto al E1s ya que como se ha visto la pendiente ahora es negativa en la mayor parte de sus tramos, aunque esta sea muy pequeña.

Este escenario a primera vista va a ser más favorable ya que se necesitará menos energía y las baterías necesarias serán más pequeñas. De este modo, se podrá llevar más carga útil.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	268,716	164,214572	0	131353,548	0
10	268,716	164,214572	-47,0253	117085,81	46834324,02
20	268,716	164,214572	69,4183	152415,447	60966178,88
30	268,716	164,214572	11,1965	134750,629	53900251,45
40	268,716	164,214572	-152,2724	85153,2534	34061301,35
50	268,716	164,214572	-22,393	124559,387	49823754,85
60	268,716	164,214572	58,2218	149018,367	59607346,68
70	268,716	164,214572	-69,4183	110291,649	44116659,62
80	268,716	164,214572	85,0934	157171,36	62868543,96
90	268,716	164,214572	-125,4008	93306,2466	37322498,63
100	268,716	164,214572	58,2218	149018,367	59607346,68
110	268,716	164,214572	-87,3327	104856,32	41942528,1
120	268,716	164,214572	40,3074	143583,038	57433215,16
130	268,716	164,214572	-109,7257	98062,1593	39224863,71
140	268,716	164,214572	-47,0253	117085,81	46834324,02
150	268,716	164,214572	-44,786	117765,226	47106090,46
160	268,716	164,214572	-31,3502	121841,723	48736689,09
170	268,716	164,214572	22,393	138147,709	55259083,65
				Sumatorio	845645000,3 Ws
				Energía	234901,389 Wh
				Ebaterías	234901,389 Wh
				Peso	2372,7413 kg

Ilustración 27 Resultados trayecto Logroño-Zaragoza camión LION carga útil máxima

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto E1b es 234.9 kWh. Con la densidad de energía obtenemos un peso de baterías de 2372.74 kg. La carga útil máxima se obtiene de esta manera:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 11235.3 \text{ kg}$ . Observamos que ahora podemos llevar más carga ya que se necesita menos energía.

A continuación, se ve la evolución de consumo de energía con la variación de las resistencias.

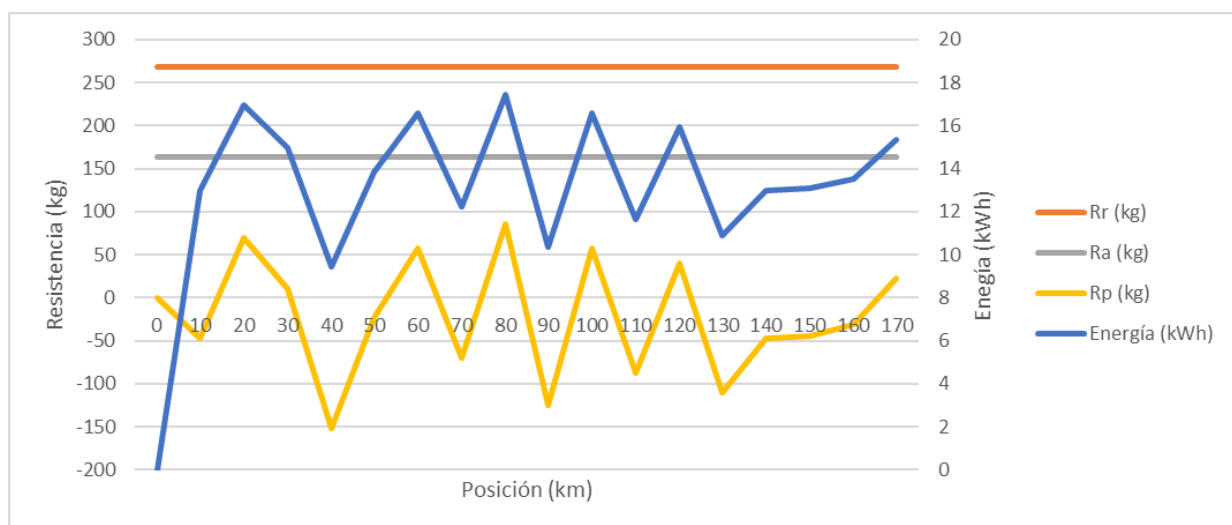


Ilustración 28 Evolución de la energía consumida con las resistencias para camión LION en Logroño-Zaragoza

Como se observa en esta figura anterior la resistencia aerodinámica y de rodadura son constantes, marcando los picos de la energía a resistencia a las pendientes.

Las pendientes si son negativas hacen que la resistencia a las pendientes sea negativa y se necesite menos energía. Mientras que si la pendiente es positiva la resistencia a la pendiente también lo es y se necesita más energía para poder vencer todas esas resistencias.

En el Anexo 2 se podrá ver el resto de los resultados para el camión LION con el programa del departamento y mediante el software Excel con las tres combinaciones de carga útil (máxima, 4000kg y sólo TARA), para los diferentes tipos de escenarios.

## 5.7 Resumen resultados MAN TGM 26.360 E

El cuadro resumen de las energías y baterías obtenido para los diferentes escenarios del camión MAN es el siguiente:

MAN	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3
	E1s	E1b	E2s	E2b	E3
* Pbat 1 (kg)	2656	2394,5	3027	2002,6	2526
** Pbat 2 (kg)	3212	3053	4122,2	3191,6	3053
Carga útil (kg) MMA-TARA-Pbat 1	8634	8895,5	8263	9287,4	8764
Pbat 1 / MMA (%)	10,22	9,21	11,64	7,70	9,72
Pbat 1 / Carga útil (%)	30,76	26,92	36,63	21,56	28,82
Autonomía específica (km/kg)	0,064	0,071	0,056	0,085	0,067
Energía de baterías a carga útil máxima(kWh)	262,95	237,05	299,68	198,26	250,07
Energía de baterías con 4000kg de Qútil (kWh)	228,35	206,27	260,52	174,1	217,31
Energía de baterías solo con TARA (kWh)	198,48	181,12	223,77	155,83	189,8
Consumo específico a plena carga (kWh/t km)	0,059	0,054	0,068	0,045	0,057
Consumo específico a plena carga por cada 100 km recorridos (kWh/100 km)	154,676	139,441	176,282	116,624	147,100
Comb (diésel) /MMA (%)	3,077	3,077	3,077	3,077	3,077
Comb (diésel) /Carga útil (%)	5,588	5,588	5,588	5,588	5,588

\* Peso de las baterías obtenido a partir del software Microsoft Excel

\*\* Peso de las baterías obtenido a partir del software del departamento de IM

*Ilustración 29 Resumen de resultados de camión MAN TGM 26.360 E con TARA=14710kg y MMA=26000kg*

El peso de baterías elegido para sacar los demás resultados ha sido el del Excel, por ser mucho más exacto. Como se puede observar todos los pesos de baterías son inferiores a los del software del departamento, esto es debido a que en el Excel el perfil de la carretera es más exacto con zonas de pendiente negativa y positiva.

En el escenario E2b es donde menos energía se consume (198.3 kWh) y por consiguiente menos batería se necesita (2002.6 kg). Esto es gracias a que su perfil de carretera incorpora pendientes negativas pronunciadas en las cuáles la resistencia a la pendiente colabora con el movimiento del vehículo. Por este motivo, es el que tiene menor consumo específico y una mayor autonomía específica.

Por el contrario, el escenario E2s es el que incorpora tramos con una pendiente positiva mayor con lo que la resistencia a la pendiente hace que se necesite una mayor energía para vencerla (299.7 kWh) con la mayor batería 3027 kg). Este camión que hace este trayecto obtiene el consumo específico mayor y la autonomía específica menor.

En el escenario E3 se consume una energía de 250 kWh, la cuál es intermedia. Esto es porque la pendiente es nula y por consiguiente la resistencia a las pendientes también, con lo que no aporta ni resta energía, dejando un consumo intermedio en este trayecto.

En el escenario E1s, caracterizado por tramos con pendientes positivas del entorno del 0.1%, se obtiene un consumo de energía de 262.95 kWh un poco superior al escenario E3. Por otra parte, en el escenario E1b, con tramos con pendiente negativa del entorno del 0.1%, se consigue un consumo de energía de 237.05 kWh un poco inferior al escenario E3.

Por otro lado, para obtener los datos con un camión convencional diésel de  $MMA = 26\ t$ , se ha ido a la web oficial de MAN (MAN, 2019) con el modelo TGM obteniendo una  $TARA = 10885\ kg$ , una masa de diésel  $P_{diésel} = 800\ kg$  y una  $Q_{útil} = 14315\ kg$ .

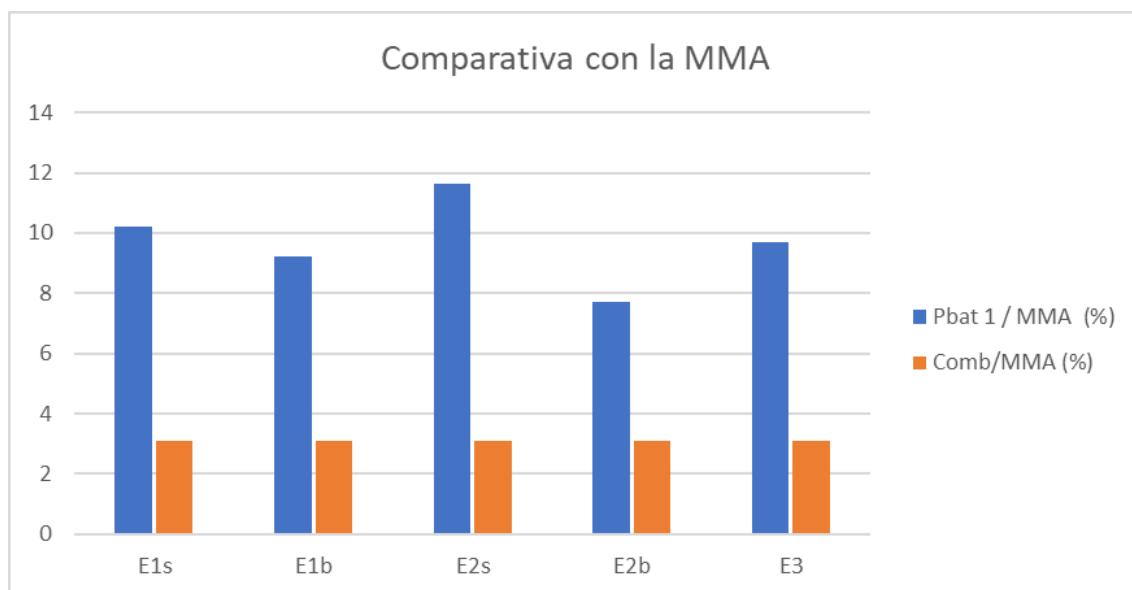


Ilustración 30 Ratio entre peso de batería o diésel y la MMA

Como se ha comentado en el escenario E2s la batería supone respecto a la MMA un 11.64 %, es el peso mayor de baterías. Por el contrario, en el escenario E2b el peso de baterías es mínimo representando un 7.7 % sobre la MMA. Por último, si se compara con un camión convencional diésel vemos que este es mucho más eficiente desde el punto de vista de la masa (al tener únicamente 800 kg de combustible se deja mucha más masa libre para carga útil) representando únicamente la masa de diésel sobre la MMA un 3 %.

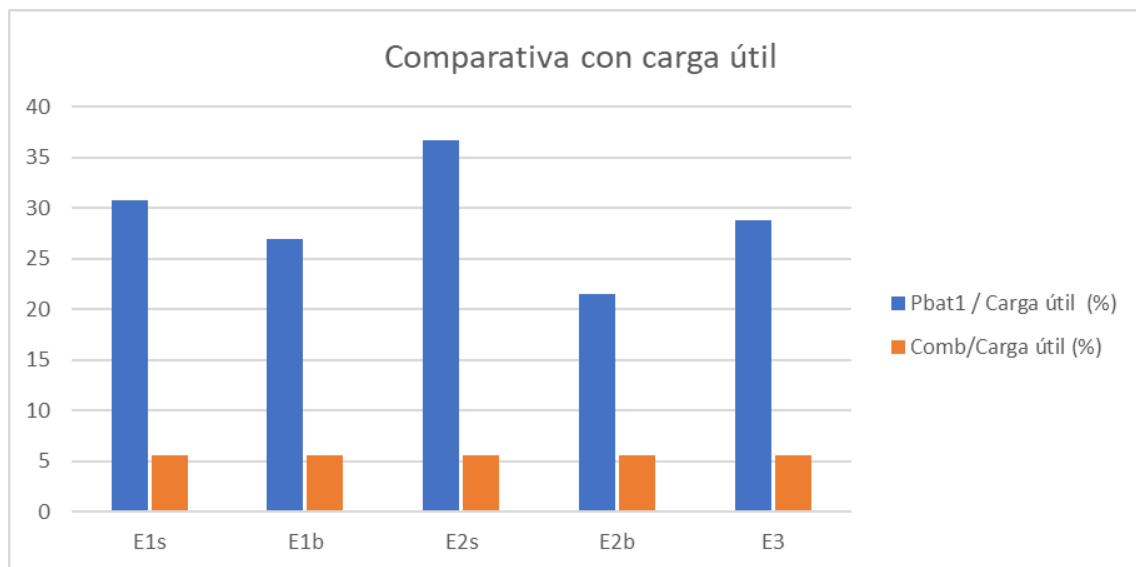


Ilustración 31 Ratio entre peso de baterías o diésel y carga útil transportada

Como se puede observar que la ratio de peso de baterías respecto a carga útil es mayor en el escenario E2s con un 36.6 %, esto es debido a un mayor requerimiento de energía y peso de baterías sumado a una disminución de carga útil. Por el contrario, en el escenario E2b se tiene la ratio menor, un 21.6 %, al poder transportar mayor carga útil y necesitar menos peso de baterías (menor energía). Por último, se vuelve a observar que en términos de carga útil es más versátil el camión diésel, ya que únicamente representa la masa de diésel un 5.6 % sobre la carga útil haciendo que esta aumente a  $Q_{\text{útil}} = 14315 \text{ kg}$ .

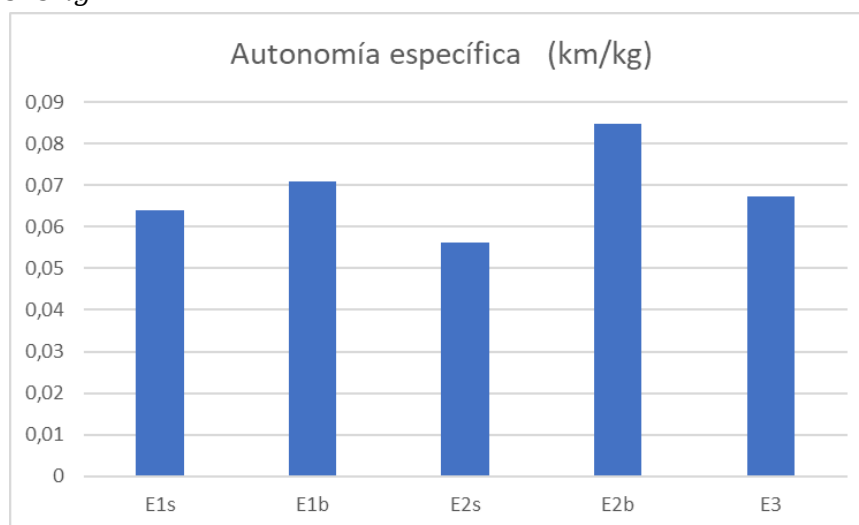


Ilustración 32 Autonomía específica del MAN para los diferentes trayectos

Como se puede observar otra vez, como se necesita mayor energía en el escenario E2s, es el que menor autonomía específica tiene pudiendo únicamente hacer  $0.056 \frac{\text{km}}{\text{kg batería}}$ . En el escenario E2b se necesita la menor energía y la autonomía sale  $0.084 \frac{\text{km}}{\text{kg batería}}$ . En el escenario E3 tiene una autonomía específica de  $0.067 \frac{\text{km}}{\text{kg batería}}$ , la cuál es intermedia con respecto a E2s y E2b. Se observa que los resultados son sorprendentes, de media 67m por cada kilogramo de batería.

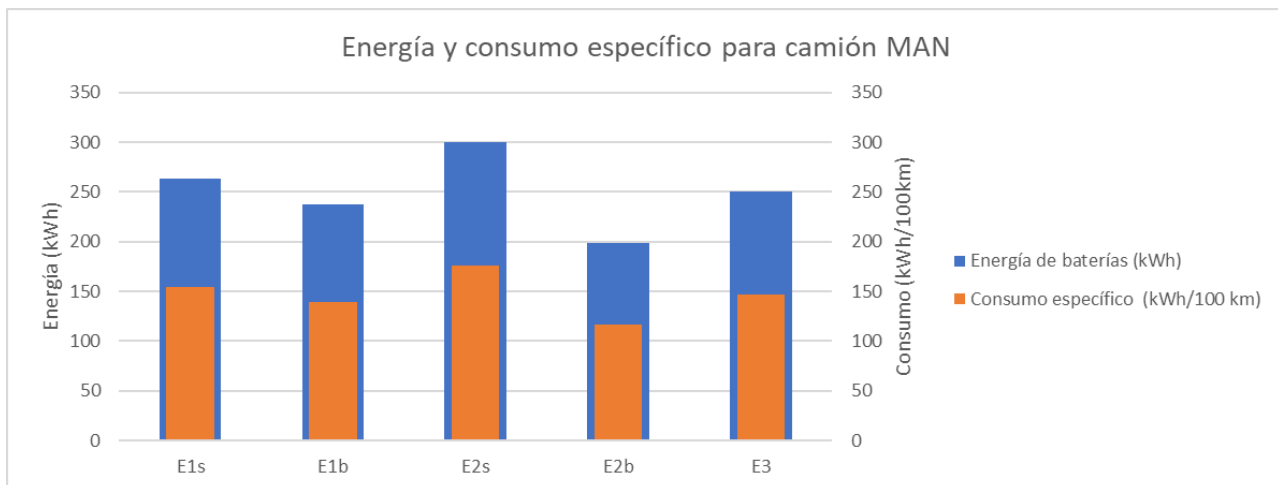


Ilustración 33 Energía de baterías y consumo específico

Como se puede observar en el escenario E2s se consumen 300 kWh con un consumo específico de 176.3 kWh/100km, mientras que en el escenario E2b se consumen 198 kWh y con un consumo específico de 116.6 kWh. Con esto viene a demostrarse que en un trayecto con pendientes negativas pronunciadas se necesitan 60 kW menos por cada 100 kilómetros recorridos.

A continuación, se muestra la relación entre energía consumida y carga útil en dos trayectos para enseñar la dependencia entre ellas.

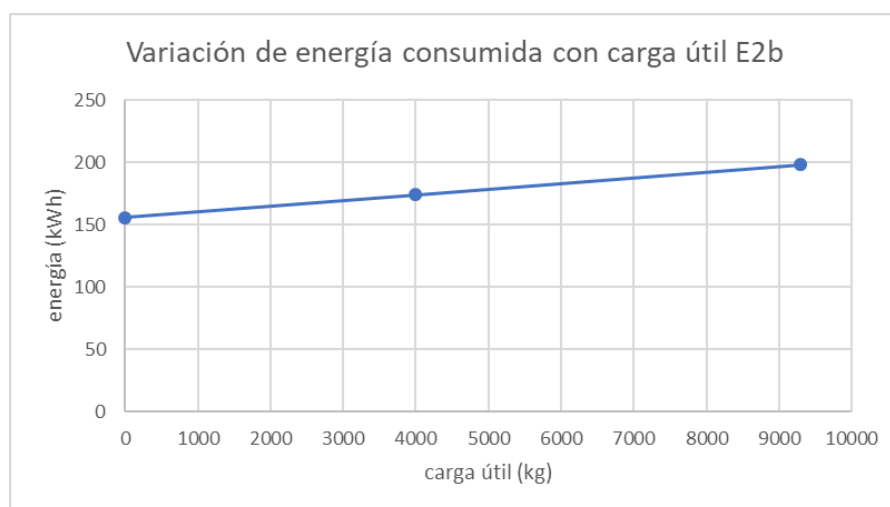


Ilustración 34 Variación energía consumida-carga útil en Teruel-Zaragoza

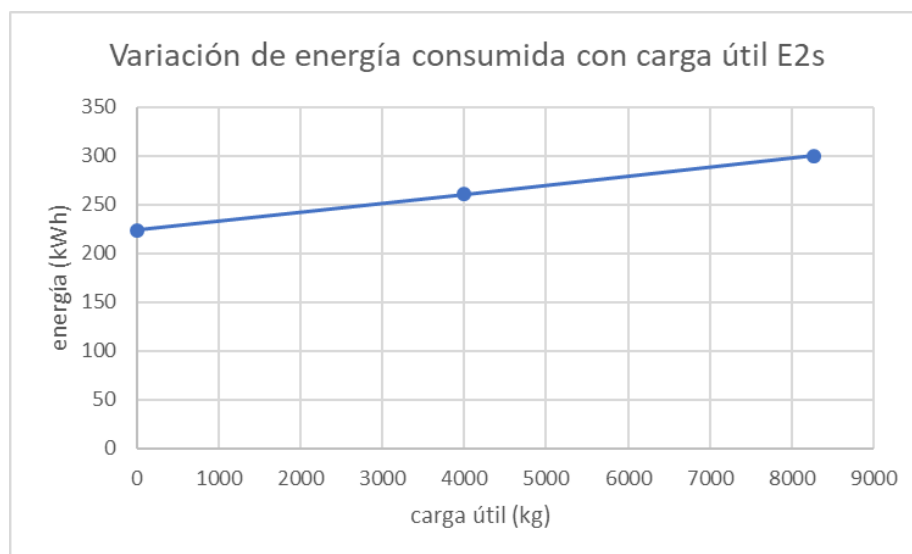


Ilustración 35 Variación energía consumida-carga útil en Zaragoza-Teruel

Como se puede observar para todas las cargas útiles entre la nula y la máxima, la energía consumida será la que le corresponda siguiendo la ecuación de la recta, ya que es lineal. Se han obtenido rectas, porque las tres resistencias son dependientes de la masa. En el escenario E2b la carga útil máxima es 9287.4 kilogramos y en el escenario E2s la carga útil máxima es 8263 kilogramos. La primera es superior como se ve porque se requiere también ese trayecto a carga útil máxima 100 kWh menos aproximadamente, lo que hace que se necesite menos batería.

### 5.7.1 Comparativa con datos declarados del fabricante

Ahora se va a comparar los resultados de este camión MAN con los datos declarados del fabricante. Para ello se ha cogido el peso de las baterías en el trayecto entre La Ampolla y Barcelona (E3), que tiene pendiente nula y se asemeja a las condiciones de prueba del fabricante.

$$Energía_{E3} = 250.07kWh \quad P_{bat_{E3}} = 2526kg$$

Como se declara una autonomía de 180 kilómetros el peso de baterías será:

$$P_{bat_{180km}} = 180km * \frac{2526kg}{170km} = 2674.6kg$$

Con lo que la carga útil que puede ser transportada como máximo según fabricante será:

$$Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{bat} = 26000 - 14710 - 2674.6 = 8615.4 kg$$

Como se puede observar cuando se quiere tener una autonomía mayor, el peso de las baterías aumenta, haciendo disminuir la carga útil. Con esto se ve que el fabricante ha de jugar entre estas variables para la elección de su vehículo.

Otro aspecto que se puede calcular con los datos del fabricante es su consumo específico a partir de:



$$Energía_{batería} = 185kWh \quad Autonomía = 180km$$

$$Consumo\ específico\ fabricante = \frac{185kWh}{180km} * 100km = 102,8 \left( \frac{kWh}{100km} \right)$$

Como se observa el consumo específico del fabricante es inferior al obtenido para todos los diferentes recorridos, con lo que se puede concluir que el fabricante hizo las pruebas de autonomía con una carga útil inferior a la máxima o en condiciones más favorables.

El mayor consumo específico se produce en el escenario E2s, con lo que la diferencia entre este consumo y el obtenido por el fabricante es el siguiente:

$$\Delta Consumo\ específico = 176,8 - 102,8 = 74 \left( \frac{kWh}{100km} \right)$$

Como se observa esta diferencia es sustancial e induce a que las pruebas realizadas por el fabricante se realizaron con condiciones más favorables.

### 5.7.2 Comparativa con camión convencional

Con el camión eléctrico según el fabricante, como se ha visto:

$$Autonomía = 180km \quad Q_{\text{útil-eléctrico}} = 8615,4\ kg$$

Con el camión convencional diésel, como se ha visto se tiene:

$$Q_{\text{útil-diésel}} = 14315\ kg$$

Con todos estos resultados se puede saber cuánta carga útil puede ser transportada de más con un camión convencional respecto al de tracción eléctrica.

$$Factor = \frac{Q_{\text{útil-diésel}}}{Q_{\text{útil-eléctrico}}} = \frac{14315}{8615,4} = 1,66$$

Con el camión diésel se podrá transportar un 66% más de carga útil en cada trayecto de 180 kilómetros. El coste del transporte con camión articulado de carga general es según el Observatorio de los costes del transporte de mercancías por carretera de  $C_T = 1,1 \frac{€}{km}$  (Fomento, 2018). Este coste de transporte se supone que es el mismo para transporte eléctrico.

$$Coste\ transporte\ convencional = 180\ km * 1,1 \frac{€}{km} = 198\ €$$

$$Coste\ transporte\ eléctrico = 198\ € * 1,66 = 328,7\ €$$

Como se observa, para el transporte de la misma carga útil habría que hacer 1,66 viajes, incrementando el coste económico también en un 66%. El coste para transportar la misma carga útil pasa de 198 € a 328,7 €. Esto será el principal factor a tener en cuenta en el apartado de conclusiones.

## 5.8 Resumen resultados LION clase 8

El cuadro resumen siguiente muestra los resultados de energías consumidas y pesos de baterías para el camión LION, el también aparecen cálculos útiles para la comparación, así como con la comparativa de camión diésel.

LION	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3
	E1s	E1b	E2s	E2b	E3
* Pbat 1 (kg)	2620,9	2372,74	2972,84	2001,01	2497,57
** Pbat 2 (kg)	3322	3164	3751,6	2989,7	3164
Carga útil (kg) MMA-TARA-Pbat 1	10987,1	11235,26	10635,16	11606,99	11110,43
Pbat 1 / MMA (%)	10,583	9,581	12,004	8,080	10,085
Pbat 1 / Carga útil (%)	23,854	21,119	27,953	17,240	22,480
Autonomía específica (km/kg)	0,065	0,072	0,057	0,085	0,068
Energía de baterías a carga útil máxima(kWh)	259,47	234,9	294,3	198,1	247,26
Energía de baterías con 4000kg de Qútil (kWh)	207,29	189,41	233,36	163,35	198,35
Energía de batería sólo TARA (kWh)	177,43	164,26	196,61	145,08	170,85
Consumo específico a plena carga (kWh/t km)	0,0616	0,0558	0,0699	0,0471	0,0587
Consumo específico a plena carga por cada 100km recorridos (kWh/100 km)	152,629	138,176	173,118	116,529	145,447
Comb (diésel)/MMA (%)	3,077	3,077	3,077	3,077	3,077
Comb (diésel)/Carga útil (%)	5,588	5,588	5,588	5,588	5,588

\* Peso de las baterías obtenido a partir del software Microsoft Excel

\*\* Peso de las baterías obtenido a partir del software del departamento de IM

*Ilustración 36 Resultados del camión LION clase 8*

Estos han sido los resultados con Excel manteniendo los datos del camión convencional diésel de  $MMA = 26\ t$  anterior, se ha ido a la web oficial de MAN (MAN, 2019) con el modelo TGM obteniendo una  $TARA = 10885\ kg$ , una masa de diésel  $P_{diésel} = 800\ kg$  y una  $Q_{útil} = 14315\ kg$ .

En el escenario E2b es donde menos energía se consume (198.1 kWh) y por consiguiente menos batería se necesita (2001 kg). Esto es gracias a las pendientes negativas pronunciadas en las cuáles la resistencia a la pendiente colabora con el movimiento del vehículo. Por este motivo, es el que tiene menor consumo específico y una mayor autonomía específica.

Por el contrario, en el escenario E2s es el que incorpora tramos con una pendiente positiva mayor con lo que la resistencia a la pendiente hace que se necesite una mayor energía para vencerla (294.3 kWh) con la mayor batería 2972.8 kg). Este camión que hace este trayecto obtiene el consumo específico mayor y la autonomía específica menor.

Como dato curioso, en el escenario E3, se consume una energía de 247.2 kWh, la cuál es intermedia. Esto es porque la pendiente es nula y su resistencia también, con lo que no aporta ni resta energía, dejando un consumo intermedio en este trayecto.

En el escenario E1s, con una pendiente neta de un 0.1%, se consume una energía de 259.47 kWh debido a que la resistencia a la pendiente hace que se necesite más energía. Por el contrario, en el escenario E1b se consume un poco menos de energía que en el E3, 234.9 kWh.

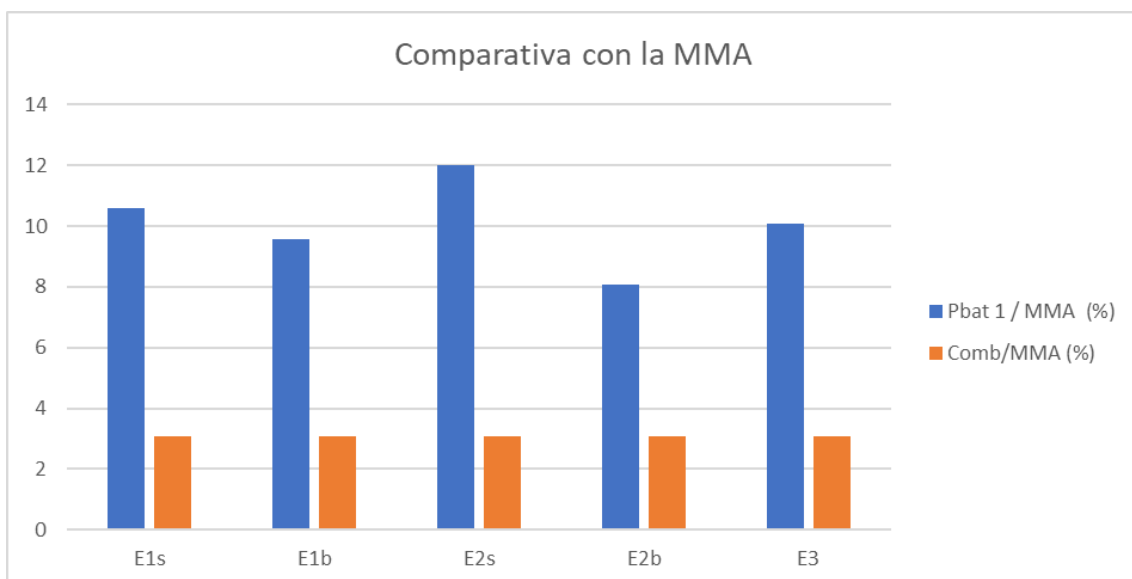


Ilustración 37 Ratio peso baterías o diésel y MMA en porcentaje para LION

El peso de baterías en el escenario E2s es un 12% sobre la MMA porque la pendiente positiva es muy grande y se necesita mucha energía como se ha visto, mientras que en el escenario E2b sucede al revés con pendiente negativa y esta ratio es un 8%.

Se puede ver que un camión convencional el diésel supone mucho menos sobre la MMA, un 3%. Con lo que en un camión convencional hay mucha más masa libre para poder transportar carga útil.

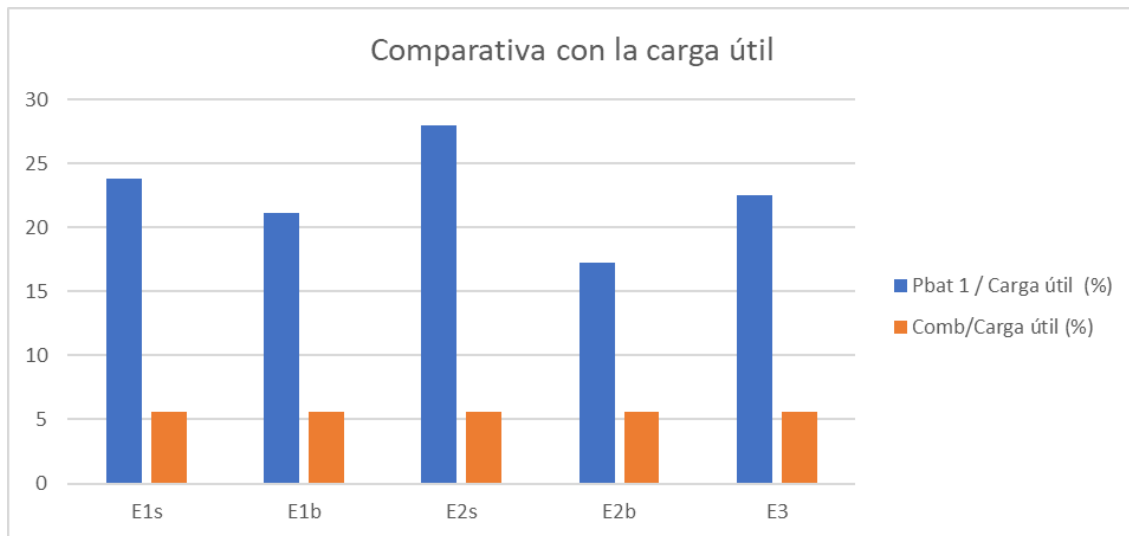


Ilustración 38 Ratio entre peso de baterías o diésel y carga útil en porcentaje

En la ilustración 70 se puede volver a observar que en el escenario E2s (ratio entre peso batería y carga útil 28%) se emplea más energía para transportar menos carga útil, mientras que en el escenario E2b (ratio entre peso batería y carga útil 17.2%) sucede justo al revés, se gasta menos energía con lo que las baterías son más pequeñas y la carga útil mayor. El camión convencional más eficiente con una ratio de un 5% con la carga útil mayor.

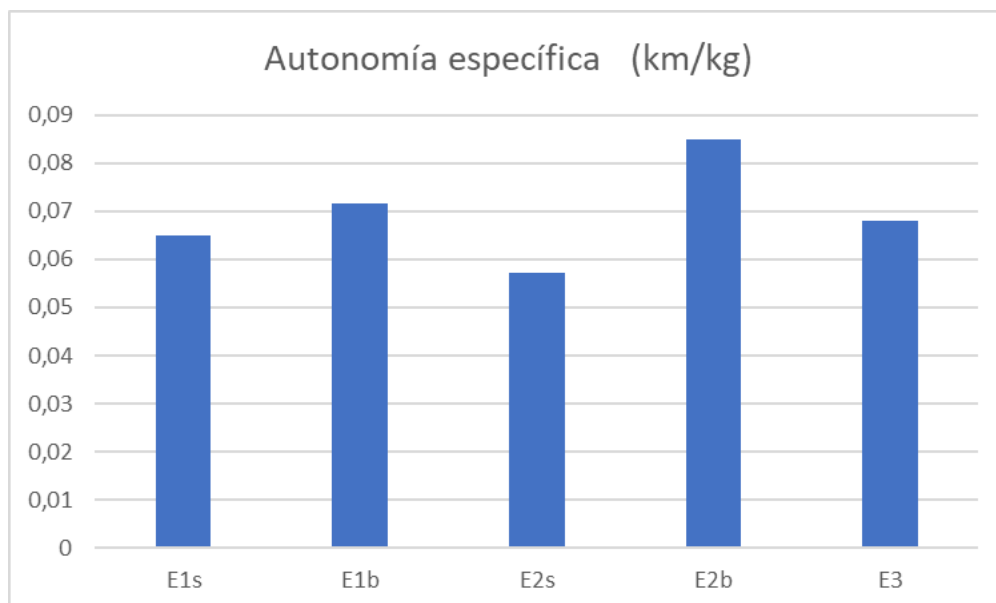


Ilustración 39 Autonomía específica del camión LION

La menor autonomía específica se haya en el escenario E2s con un 0.057(km/kg), la mayor en el trayecto E2b con un 0.085(km/kg). La autonomía específica con pendiente nula en el escenario E3 es de un 0.068(km/kg). La autonomía va en función de la energía consumida, a más energía menor autonomía específica. Como se puede observar de media es una autonomía muy pequeña, con pendiente nula sólo 68 m por kilogramo de batería.

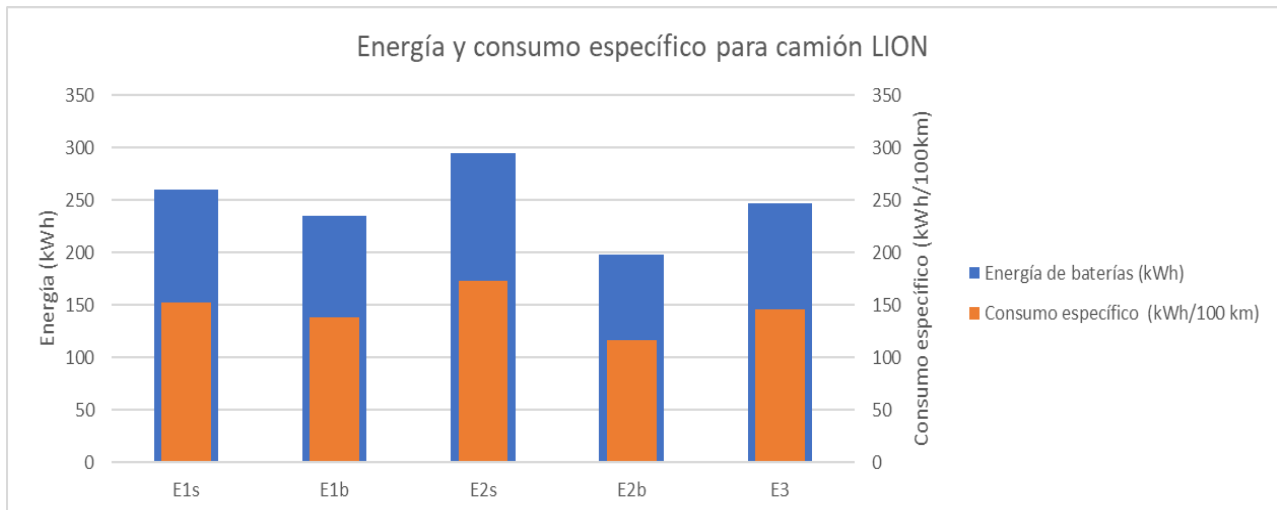


Ilustración 40 Energía de las batería y consumo específico para el camión LION

Se observa que va ligado la energía con el consumo específico, siendo ambos mayores en el escenario E2s (se emplean 294.3 kWh y se gastan 173.11 kWh/100km) en el que se requiere vencer más resistencias que en el resto de los casos. En el trayecto E2b (se emplean 198.1 kWh y se gastan 116.53 kWh/100km) como se ha visto ocurre lo contrario. En el caso intermedio del escenario E3 se emplean 250 kWh y se gastan 150 kWh/100km.

A continuación, se muestra la relación entre energía consumida y carga útil en dos trayectos para enseñar la dependencia entre ellas.

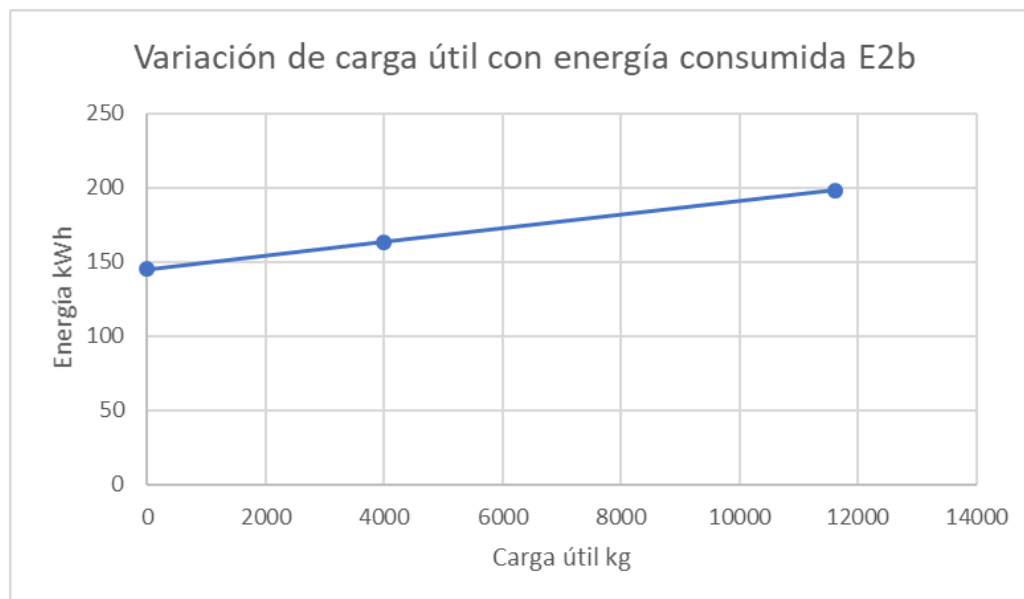


Ilustración 41 Variación de energía y carga útil del camión LION en trayecto Teruel-Zaragoza

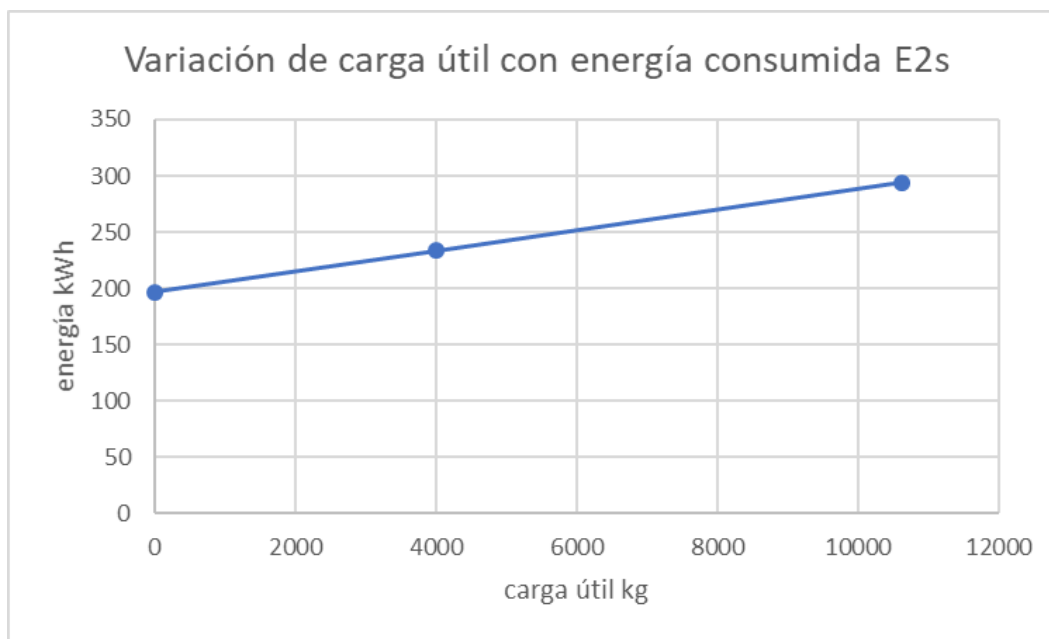


Ilustración 42 Variación de energía y carga útil del camión LION en trayecto Zaragoza-Teruel

Como se puede observar para todas las cargas útiles entre la nula y la máxima, la energía consumida será la que le corresponda siguiendo la ecuación de la recta. Se han obtenido rectas, porque las tres resistencias son dependientes de la masa. En el escenario E2b la carga útil máxima es 11607 kilogramos y en el escenario E2s la carga útil máxima es 10635.2 kilogramos. La primera es superior como se ve porque se requiere también ese trayecto a carga útil máxima 100 kWh menos aproximadamente, lo que hace que se necesite menos batería.

### 5.8.1 Comparativa con datos declarados del fabricante

Ahora se va a comparar los resultados del camión LION con los datos declarados del fabricante. Para ello se ha cogido el peso de las baterías en el trayecto entre La Ampolla y Barcelona (escenario E3), que tiene pendiente nula y se asemeja a las condiciones de prueba del fabricante.

$$Energía_{E3} = 247,3kWh \quad P_{bat_{E3}} = 2497,57kg$$

Como se declara una autonomía de 400 kilómetros el peso de baterías será:

$$P_{bat_{400km}} = 400km * \frac{2497,57kg}{170km} = 5876,63kg$$

Con lo que la carga útil que puede ser transportada como máximo según fabricante será:

$$Q_{útil} = MMA - TARA - P_{bat} = 24766 - 11158 - 5876,63 = 7731,37 kg$$

Como se puede observar cuando se quiere tener una autonomía mayor, el peso de las baterías aumenta, haciendo disminuir la carga útil. Con esto se ve que el fabricante ha de jugar entre estas variables para la elección de su vehículo.

Otro aspecto que se puede calcular con los datos del fabricante es su consumo específico a partir de:

$$Energía_{batería} = 480kWh \quad Autonomía = 400km$$

$$Consumo\ específico\ fabricante = \frac{480kWh}{400km} * 100km = 120 \left( \frac{kWh}{100km} \right)$$

Como se observa el consumo específico del fabricante es inferior al obtenido para todos los diferentes recorridos menos para el trayecto E2b, con lo que se puede concluir que el fabricante hizo las pruebas de autonomía con una carga útil inferior a la máxima o en condiciones más favorables en cuanto a pendientes negativas pronunciadas.

El mayor consumo específico se produce en el escenario E2s, con lo que la diferencia entre este consumo y el obtenido por el fabricante es el siguiente:

$$\Delta Consumo\ específico = 173,11 - 102,8 = 70,31 \left( \frac{kWh}{100km} \right)$$

Como se observa esta diferencia es sustancial e induce a que las pruebas realizadas por el fabricante se realizaron con condiciones más favorables.

### 5.8.2 Comparativa con camión convencional

Con el camión eléctrico según el fabricante, como se ha visto:

$$Autonomía = 400km \quad Q_{\text{útil-eléctrico}} = 7731,37 \text{ kg}$$

Con el camión convencional diésel, como se ha visto se tiene:

$$Q_{\text{útil-diésel}} = 14315 \text{ kg}$$

Con todos estos resultados se puede saber cuánta carga útil puede ser transportada de más con un camión convencional respecto al de tracción eléctrica.

$$Factor = \frac{Q_{\text{útil-diésel}}}{Q_{\text{útil-eléctrico}}} = \frac{14315}{7731,37} = 1,85$$

Con el camión diésel se podrá transportar un 85% más de carga útil en cada trayecto de 180 kilómetros. El coste del transporte con camión articulado de carga general es según el Observatorio de los costes del transporte de mercancías por carretera de  $C_T = 1,1 \frac{€}{km}$  (Fomento, 2018). Este coste se supone constante para transporte eléctrico.

$$Coste\ transporte\ convencional = 180 \text{ km} * 1,1 \frac{€}{km} = 440 \text{ €}$$

$$Coste\ transporte\ eléctrico = 198 \text{ €} * 1,66 = 814 \text{ €}$$

Como se observa, para el transporte de la misma carga útil habría que hacer 1,85 viajes, incrementando el coste económico también en un 85%. El coste para transportar la misma carga útil pasa de 440 € a 814 €. Esto será el principal factor a tener en cuenta en el apartado de conclusiones.

## 5.9 Grados de dureza

Para poder analizar y hacer primeras hipótesis de cálculo de otro tipo de escenarios con otras cualidades diferentes en cuanto a pendientes, es necesario tener los grados de dureza, de esta manera es sencillo hacer primeras aproximaciones.

Para obtener los grados de dureza se han hecho los siguientes cálculos, tomando como referencia el consumo específico a los 100 km en el escenario E3, el cual tiene pendiente nula. Por otro lado, hay que comentar que los resultados obtenidos con el camión MAN.

$$\frac{\text{Consumo específico a los 100km}_{E1s}}{\text{Consumo específico a los 100km}_{E3}} = \frac{153,4}{147,16} = 1,04$$

$$\text{Pendiente promedio de los tramos}_{E1s} = 0,097$$

$$\frac{\text{Consumo específico a los 100km}_{E1b}}{\text{Consumo específico a los 100km}_{E3}} = \frac{140,4}{147,16} = 0,95$$

$$\text{Pendiente promedio de los tramos}_{E1s} = -0,097$$

$$\frac{\text{Consumo específico a los 100km}_{E2s}}{\text{Consumo específico a los 100km}_{E3}} = \frac{176,8}{147,16} = 1,2$$

$$\text{Pendiente promedio de los tramos}_{E1s} = 0,38$$

$$\frac{\text{Consumo específico a los 100km}_{E2b}}{\text{Consumo específico a los 100km}_{E3}} = \frac{114,4}{147,16} = 0,77$$

$$\text{Pendiente promedio de los tramos}_{E1s} = -0,38$$

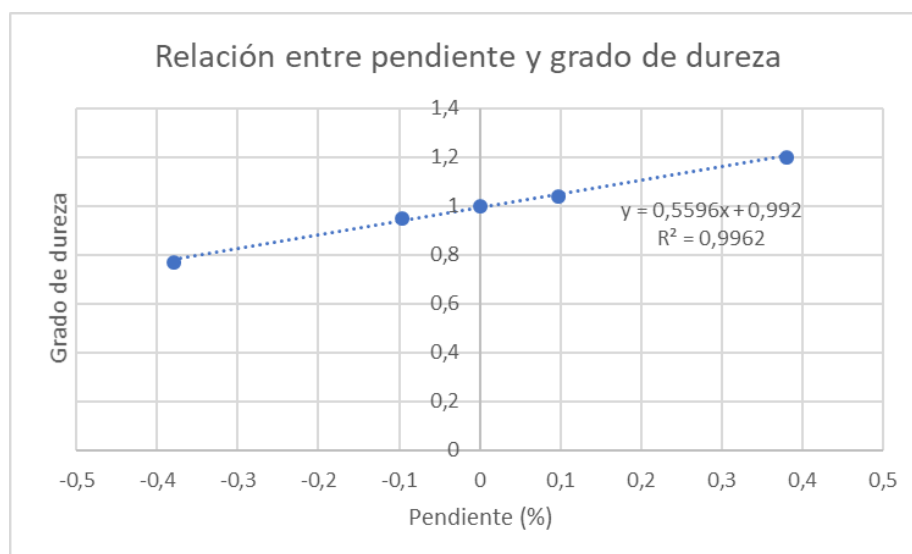


Ilustración 43 Grados de dureza para cálculo de energía de otros trayectos

Con la gráfica siguiente ya se sería capaz conociendo la pendiente de un trayecto, obtener su grado de dureza y obtener la energía consumida y la masa de baterías.



## 6. Conclusiones y futura continuación

En primer lugar, se ha escogido el escenario E3 para ambos camiones, ya que es el que posee una pendiente nula. Se puede observar que para ambos camiones se ha consumido una energía muy similar, lo que conlleva que los pesos de las baterías resultantes para ambos también lo sean. Se observa también que el área frontal de ambos camiones es muy parecida. A pesar de todas estas similitudes la carga útil en ambos camiones es diferente, siendo en el camión LION 2346,4 kg superior. El camión LION puede llevar más carga útil a pesar de que su MMA es 1234 kg inferior a la del camión MAN. Por otro lado, se observa que la TARA del camión LION es 3556 kg inferior a la del MAN.

Como observación final de esta primera conclusión hay que decir que lo que hace que el camión LION pueda transportar más carga útil con una MMA ligeramente inferior, es que su TARA es bastante inferior. Ese hecho, puede ser debido a que el chasis, la caja trasera y la cabina del camión MAN son más pesados, haciendo a este camión menos competitivo con respecto a la competencia, como puede ser el LION.

En la siguiente gráfica se puede ver que tanto para el camión LION como para el MAN se ha consumido en cada trayecto una energía muy similar. Esto se debe como se ha comentado a que la MMA es muy próxima, la superficie frontal también y el coeficiente de rodadura se ha supuesto igual para ambos camiones.

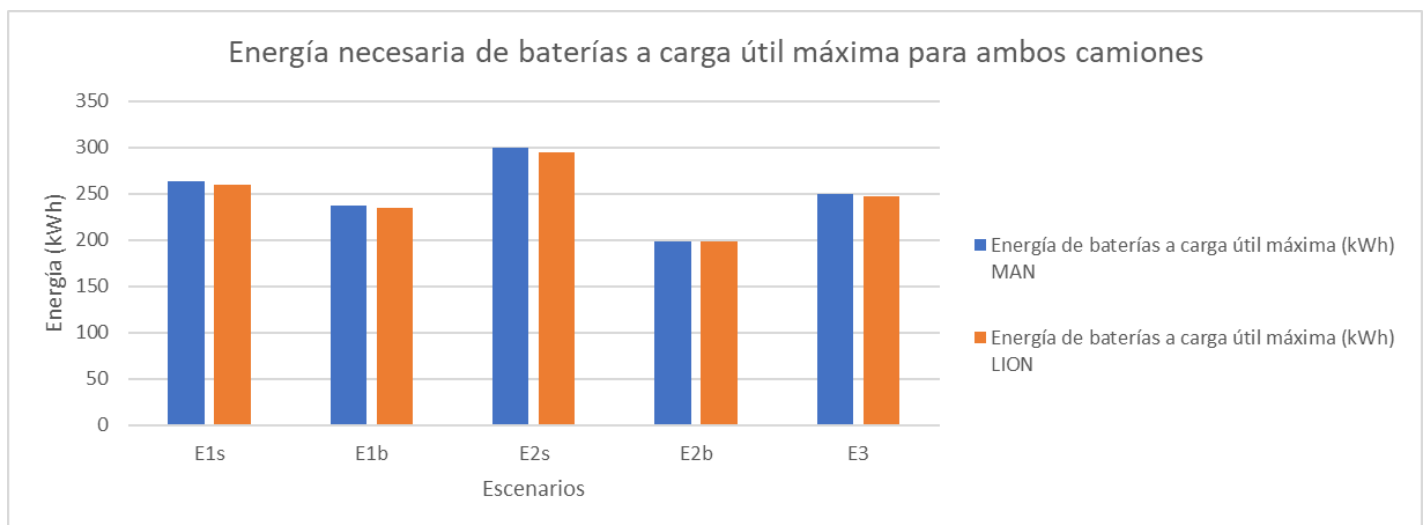


Ilustración 44 Comparativa de ambos camiones de energía consumida

Se puede observar que como media de todos los trayectos se ha consumido una energía aproximada de 250 kWh.

En la siguiente fotografía se va a poder ver cómo es la ratio entre peso de baterías y carga útil para ambos camiones, como se ha dicho para el LION es superior porque tiene una TARA inferior.

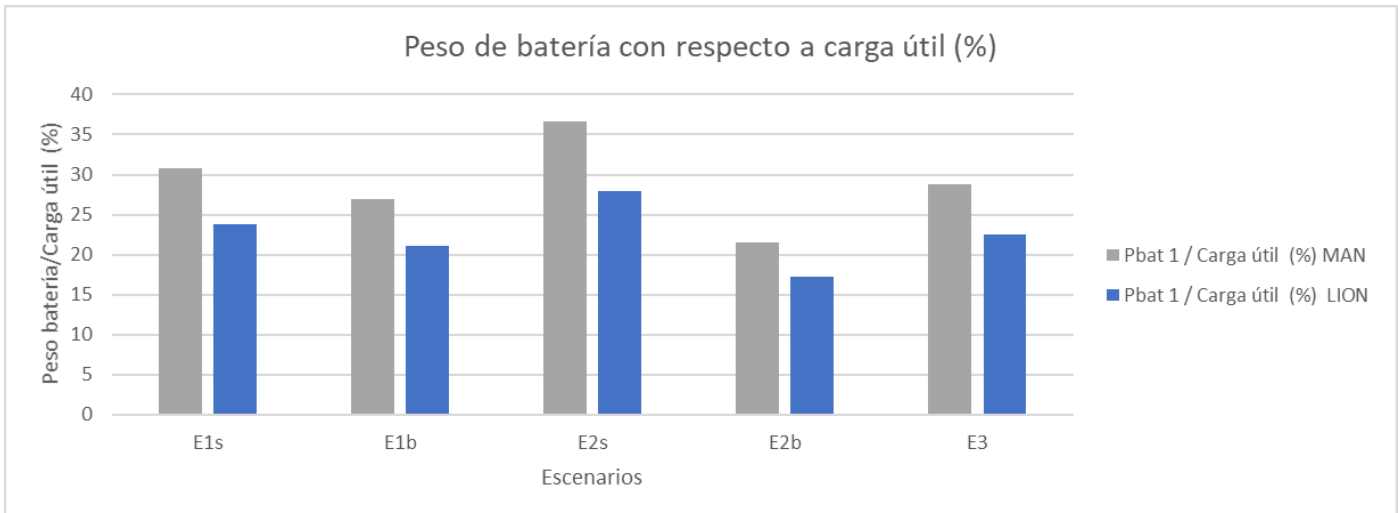


Ilustración 45 Peso de batería con respecto a carga útil (%)

Se puede observar que, si la energía consumida por ambos camiones es muy parecida, los pesos de las baterías también lo son. Lo que marca la diferencia entre ambos es que para el LION la carga útil es de media 2300 kg superior. Con esto se observa que la ratio para el MAN es aproximadamente un 7% superior. Este gráfico muestra de forma clara que el camión LION es más eficiente en términos de carga útil.

En segundo lugar, otro punto de vista interesante es la comparativa con los camiones que se han usado hasta ahora, los convencionales alimentados por combustible diésel. Como se ha observado los camiones convencionales tienen más carga útil que los de tracción eléctrica principalmente al elevado peso de las baterías. Para transportar la misma carga útil, el coste se incrementaba bastante. Para transportar con una autonomía de 180 km el camión MAN incrementaba sus gastos en un 66%. Mientras que para hacer un trayecto de 400 km con el camión LION se aumentan los gastos en un 85%. Este brusco incremento de gasto económico hace que ambos sean muy poco competitivos con respecto a los convencionales.

En tercer lugar, los camiones eléctricos en general tienen un principal problema, que es su autonomía, incluso superior al coste económico. Esto es así debido a que en medio de una jornada laboral de 8 horas de un transportista es inviable perder tiempo, pudiendo perder varias horas en el proceso de carga de baterías.

Con todo esto hay que decir que los camiones de tracción eléctrica de momento no son viables para trayectos de carretera entre ciudades ni para transporte de grandes cargas, ya que hasta que no se consigan baterías con una alta densidad de energía no se obtendrán autonomías ni cargas útiles elevadas.

Los camiones de tracción eléctrica actualmente encuentran su uso en el transporte urbano de mercancías, ya que suelen ser recorridos de pequeñas distancias con tiempos de uso y parada del motor eléctrico. En este tipo de transporte el motor del camión está bastante tiempo apagado y sin consumir energía. Hay que tener en cuenta que para transporte urbano el uso de vehículo eléctrico es muy positivo porque no contamina con gases  $NO_x$  y  $CO_2$  entre otros.

A continuación, se muestran a modo de representar el consumo de energía con las tres resistencias en los escenarios E2s, E2b y E3 para el camión MAN.

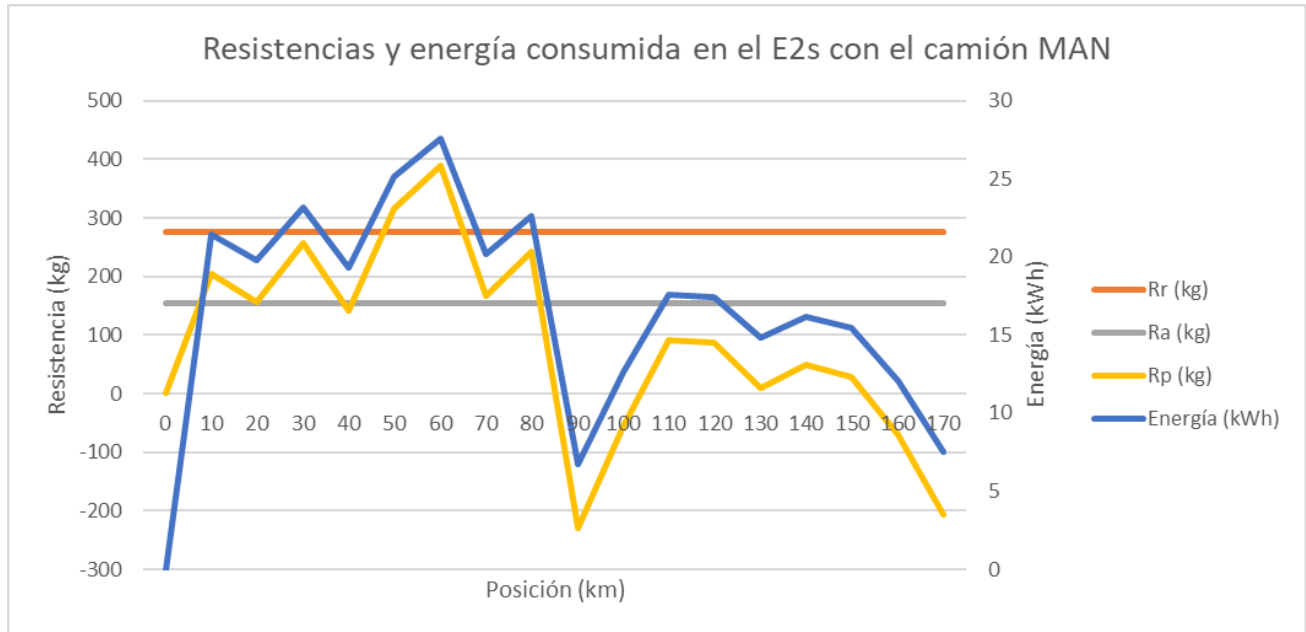


Ilustración 46 Energía y resistencias en escenario Zaragoza-Teruel con el MAN a plena carga

En este gráfico se puede observar que para el escenario E2s con la primera zona con pendiente positiva del 1% aproximadamente, la resistencia a la pendiente es superior a la de rodadura y aerodinámica, observándose también que la resistencia a las pendientes es la que marca el perfil de consumo de energía.

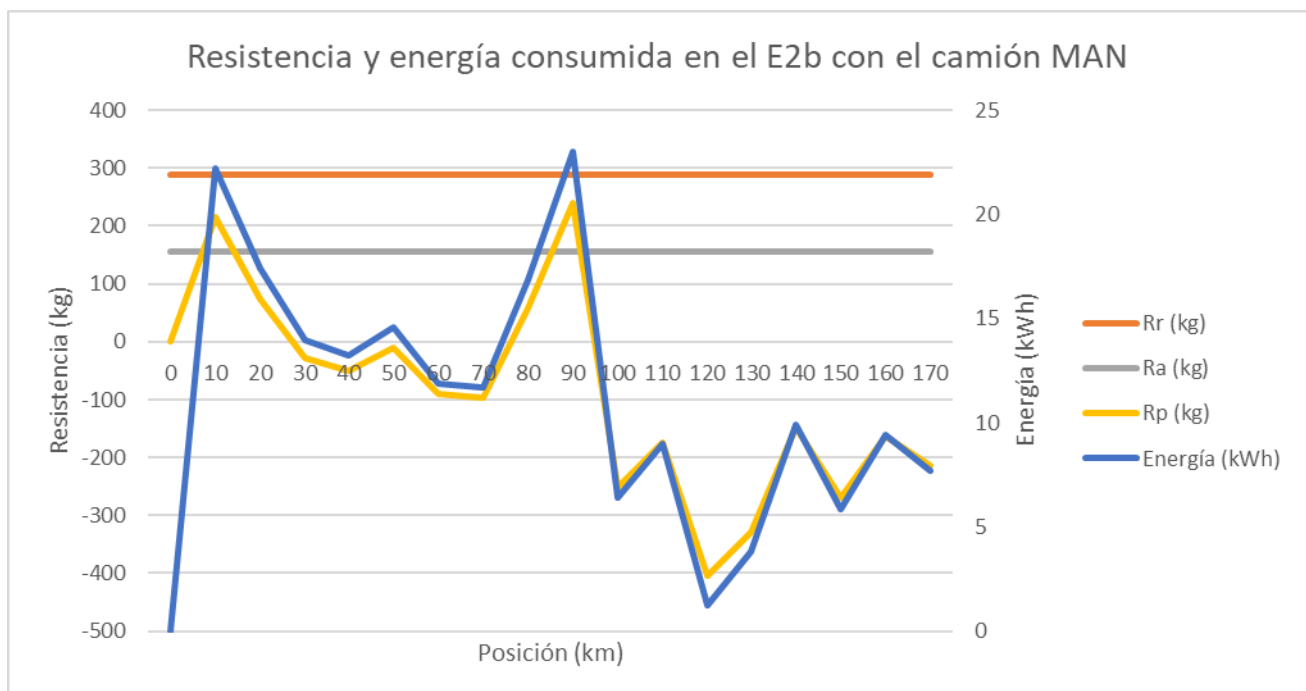


Ilustración 47 Resistencias y energía en el escenario Teruel-Zaragoza con el camión MAN a plena carga

En el escenario E2b se observa que hay algún pico de la resistencia a la pendiente superior a la aerodinámica, debido a alguna pendiente positiva en esos tramos.

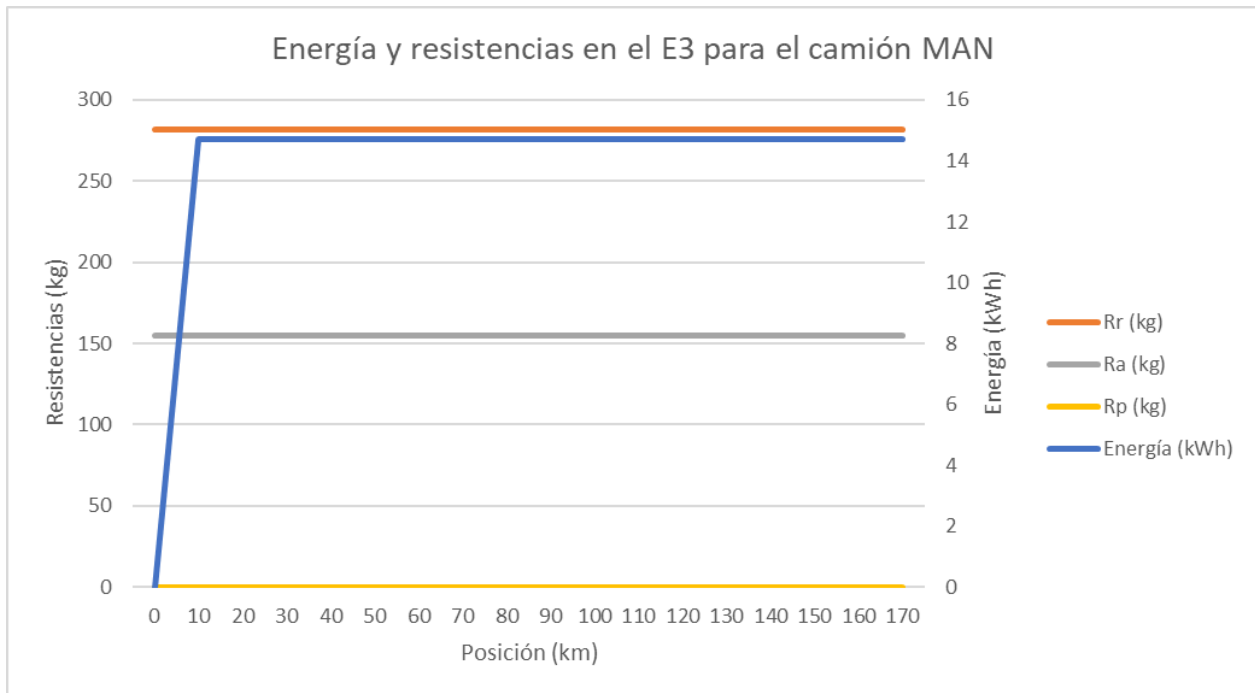


Ilustración 48 Energía y resistencias para el camión MAN a plena carga en el escenario La Ampolla-Barcelona

En este escenario E3 en que la pendiente es nula, se observa que su resistencia también lo es y que únicamente influye en el gasto de energía la de rodadura y aerodinámica.

Las futuras continuaciones a este trabajo tienen que ir ligadas a la experimentación y al dimensionamiento energético con baterías con una densidad de energía mayor. Estas continuaciones tienen que estar dirigidas también a la optimización de tiempos en cuanto a los procesos de carga de baterías.

Otra continuación de este trabajo puede ser el estudio más detallado de trayectos de carretera en los que se analice aún con más detalle el perfil del escenario. De esta manera se podrán obtener datos mucho más fiables de consumo de energía, ya que en la realidad las carreteras tienen pendientes positivas y negativas alternas con cambios con mucha frecuencia.

La última continuación, iría ligada al estudio de las velocidades del viento a lo larga de todo un trayecto. Conocer la velocidad del viento indica conocer su módulo, dirección y sentido y con ello poder analizar en cada pequeño tramo si el viento favorece o impide el movimiento del camión. El viento puede incidir la lateral o longitudinalmente.

## 7. Bibliografía y fuentes de información

- BMW. (junio de 2019). *BMW Corporation*. Obtenido de [https://www.bmw.es/content/dam/bmw/marketES/bmw\\_es/brochures-pricelist/BMW-i/i3/catalogo-i3-i3s-300418.pdf.asset.1557143800346.pdf](https://www.bmw.es/content/dam/bmw/marketES/bmw_es/brochures-pricelist/BMW-i/i3/catalogo-i3-i3s-300418.pdf.asset.1557143800346.pdf)
- Bocanegra. (19 de septiembre de 2011). *Camión actualidad*. Obtenido de <https://www.camionactualidad.es/noticias-camiones/vehiculos-historicos-clasicos/item/678-mas-de-100-anos-de-historia>
- Cabrillo, F. (16 de julio de 2016). *Expansión*. Obtenido de <http://www.expansion.com/directivos/2016/07/19/578e41d1468aeb0e728b45a1.html>
- Calleja, T. (29 de marzo de 2019). *MAN*. Obtenido de <https://www.transporteprofesional.es/ultimas-noticias/contacto-camion-man-tgm-26-360-e>
- Domínguez, J. (21 de mayo de 2018). *Cambio energético*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/comparacion-baterias-de-plomo-acido-y-bateria-de-litio-para-energia-solar/>
- Fomento, M. d. (2018). *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Fuentes, V. (15 de mayo de 2018). *Motorpasión*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/en-1912-una-editorial-ya-contaba-con-una-flota-de-22-camiones-electricos-capaces-de-transportar-10-toneladas-de-carga>
- Google Earth. (2019). Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Hudson, B. (2017). *Techlandia*. Obtenido de [https://techlandia.com/historia-microsoft-excel-sobre\\_324527/](https://techlandia.com/historia-microsoft-excel-sobre_324527/)
- LION. (2019). *LION Corpotative*. Obtenido de <https://thelionelectric.com/fr>
- López, J. A. (2013). *Dinámica longitudinal tracción*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- MAN, C. (junio de 2019). *MAN*. Obtenido de <https://www.truck.man.eu/konfigurator/#/summary>
- Victor. (17 de octubre de 2012). *Recarga coches eléctricos*. Obtenido de <https://www.recargacocheselectricos.com/todo-sobre-las-baterias-de-litio/>
- Wong, J. Y. (2001). *Theory of ground vehicles*. Ottawa: JOHN WILEY & SONS.

## Anexos

### Anexo 1- Resto de resultados de escenarios para camión MAN

A continuación, se muestran el resto de los resultados para carga útil máxima, con 4000 kilogramos de carga y sólo con TARA.

### Cálculos del MAN a plena carga con software del departamento de IM

#### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

Este trayecto tiene una distancia de 170 kilómetros, tiene una gran peculiaridad, su gran ascenso, ya que Teruel es una capital de provincia que se encuentra a una altura sobre el mar superior a la mayoría de España.

Este trayecto como se vio cuando se hizo los cálculos de las pendientes, se separa en dos tramos. El primer tramo es el más importante debido a que es el que más pendiente tiene (un 1.02%) y en el que más consumo de energía hay, este tramo son 80 kilómetros. El segundo tramo se caracteriza principalmente por un pequeño descenso desde el puerto de montaña hasta Teruel ciudad, este tramo es un poco más grande que el anterior con 90 kilómetros.

A continuación, podemos ver los cálculos y resultados obtenidos para él.

**DATOS**

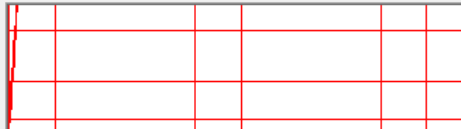
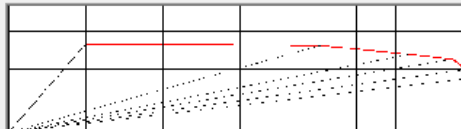
Peso (Kg).	P	21880
Coefficiente de rodadura,	$\mu$	0,012
Coefficiente aerodinámico,	Cx	0,6
Rendimiento de la transmisión,	$\eta_t$	0,85
Rendimiento del motor eléctrico,	$\eta_e$	0,95
Pendiente [%],	n	1,02
Autonomía (m).	A	80000
Altura del vehículo (m).	a	2,946
Anchura del vehículo (m).	b	2,24
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	p	99

Editor Curva Carga-Capacidad

**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s).	T	3200
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	3200
Distancia del ciclo (m).	D	80000

Editor Ciclo de funcionamiento

**RESULTADOS**

Número de ciclos	1,00
E aceleración (Kws)	5547,48
E cruce (Kws)	80636,30
E Ciclo (Kws)	86183,70
E Total (Kwh)	162,83
Tiempo de descarga (min)	53,33
Peso de la Batería (Kg)	2359,74
% de la Capacidad de descarga en 5 h	77,44
Capacidad de la Batería (Ah)	271,38
% Peso Batería sobre peso vehículo	10,78
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	93,02

Calcular Salir

Ilustración 49 Dimensionamiento energético Zaragoza-Teruel camión MAN (primer tramo)

**DATOS**

Peso (Kg).  $P$  24239.7

Coefficiente de rodadura.  $\mu$  0.012

Coefficiente aerodinámico.  $C_x$  0.6

Rendimiento de la transmisión.  $\eta_t$  0.85

Rendimiento del motor eléctrico.  $\eta_e$  0.95

Pendiente (%).  $n$  0

Autonomía (m).  $A$  90000

Altura del vehículo (m).  $a$  2.946

Anchura del vehículo (m).  $b$  2.24

Tensión del motor eléctrico (v).  $V$  600

Densidad energía batería (wh/Kg).  $p$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

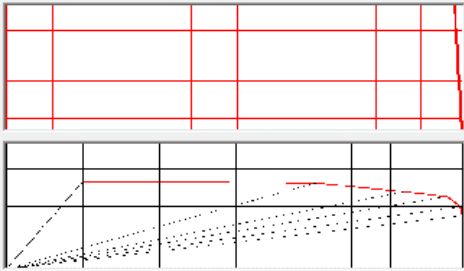
**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s).  $T$  3600

Tiempo de descarga del ciclo (s).  $T_d$  3540

Distancia del ciclo (m).  $D$  90000

Editor Ciclo de funcionamiento



**RESULTADOS**

Número de ciclos 1.00

E aceleración (Kws) 0.00

E cruce (Kws) 45312.50

E Ciclo (Kws) 45312.50

E Total (Kwh) 123.70

Tiempo de descarga (min) 59.00

Peso de la Batería (Kg) 1762.55

% de la Capacidad de descarga en 5 h 78.77

Capacidad de la Batería (Ah) 206.16

% Peso Batería sobre peso vehículo 7.27

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 56.70

Calcular Salir

Ilustración 50 Dimensionamiento energético Zaragoza-Teruel camión MAN (segundo tramo)

En el primer tramo se necesita una energía de 162.83 kWh, con lo que usando la densidad de energía de baterías de litio la masa de las baterías es de 2359.7 kilogramos.

En el segundo tramo, los últimos 90 kilómetros, como se vio hay un pequeño descenso al alcanzar la cota más alta y Teruel capital se encuentra a menos altitud. Al haber una pequeña pendiente negativa en el programa se pone como nula (no acepta negativas).

Con todo esto la energía consumida en este segundo tramo es de 123.7 kWh. Con la densidad de energía la batería de este tramo es de 1762.5 kilogramos.

Con todo esto se obtiene un consumo de energía total de 286.53 kWh y una batería total de 4122.2 kilogramos. Como se observa el primer tramo es donde se consume más energía, ya que la resistencia a las pendientes es mucho mayor. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 7167.8 \text{ kg}$ .

## Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

En este trayecto de 170 kilómetros se han hecho dos tramos con diferentes pendientes como acabamos de ver para el recorrido en sentido contrario. Estos resultados se muestran a continuación.

### DATOS

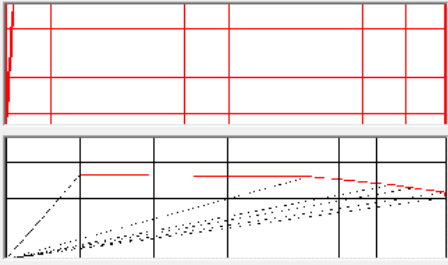
Peso (Kg).	P	22800
Coeficiente de rodadura.	$\mu$	0,012
Coeficiente aerodinámico.	$C_x$	0,6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0,85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0,95
Pendiente (%).	n	0,1444
Autonomía (m).	A	90000
Altura del vehículo (m).	a	2,946
Anchura del vehículo (m).	b	2,24
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	$\rho$	99

Editor Curva Carga-Capacidad

### CICLO DE FUNCIONAMIENTO

Tiempo total del ciclo (s).	T	3600
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	3600
Distancia del ciclo (m).	D	90000

Editor Ciclo de funcionamiento



### RESULTADOS

Número de ciclos	1,00
E aceleración (Kws)	3916,26
E cruce (Kws)	62118,10
E Ciclo (Kws)	66034,30
E Total (Kwh)	129,45
Tiempo de descarga (min)	60,00
Peso de la Batería (Kg)	1709,30
% de la Capacidad de descarga en 5 h	85,00
Capacidad de la Batería (Ah)	215,76
% Peso Batería sobre peso vehículo	7,50
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	63,09

Calcular Salir

Ilustración 51 Dimensionamiento energético Teruel-Zaragoza (primer tramo) camión MAN

El primer tramo tiene 90 kilómetros y va de Teruel capital a la cota más alta del trayecto con una ligera pendiente de 0.144%. En este tramo se necesita una energía de 129.45 kWh, con lo que usando la densidad de energía de baterías de litio la masa de las baterías es de 1709.3 kilogramos. Al ser la pendiente tan reducida las resistencias que tienen más influencia son la de rodadura y aerodinámica.

### DATOS

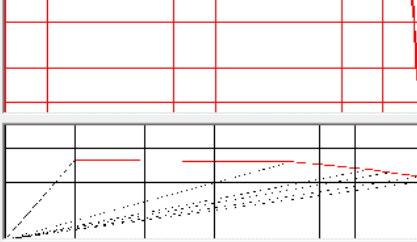
Peso (Kg).	P	24509,3
Coeficiente de rodadura.	$\mu$	0,012
Coeficiente aerodinámico.	$C_x$	0,6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0,85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0,95
Pendiente (%).	n	0
Autonomía (m).	A	80000
Altura del vehículo (m).	a	2,946
Anchura del vehículo (m).	b	2,24
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	$\rho$	99

Editor Curva Carga-Capacidad

### CICLO DE FUNCIONAMIENTO

Tiempo total del ciclo (s).	T	3200
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	3140
Distancia del ciclo (m).	D	80000

Editor Ciclo de funcionamiento



### RESULTADOS

Número de ciclos	1,00
E aceleración (Kws)	0,00
E cruce (Kws)	98076,90
E Ciclo (Kws)	98076,90
E Total (Kwh)	110,58
Tiempo de descarga (min)	52,33
Peso de la Batería (Kg)	1482,33
% de la Capacidad de descarga en 5 h	83,72
Capacidad de la Batería (Ah)	184,29
% Peso Batería sobre peso vehículo	6,05
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	56,40

Calcular Salir

Ilustración 52 Dimensionamiento energético Teruel-Zaragoza (segundo tramo) camión MAN



En el segundo tramo, los últimos 80 kilómetros, es el gran descenso a Zaragoza con una pendiente negativa, esto es debido a que se desciende del punto más alto del puerto a 1030 metros. La pendiente negativa en el programa se pone como nula (no acepta negativas). Con todo esto la energía consumida en este tramo es de 110.58 kWh. Con la densidad de energía la batería de este tramo es de 1482.3 kilogramos.

Por tanto, el consumo de energía total en el trayecto con origen Teruel y destino Zaragoza es de 240.03 kWh y un peso total de baterías de 3191.6 kilogramos. Como se ha podido observar es el primer tramo con una pequeña pendiente positiva el que requiere de una batería mayor. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8098.4 \text{ kg}$ .

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

El tercer trayecto que se analiza es el escenario E3. Este trayecto como se ha visto se caracteriza por tener la pendiente nula. Por ser nula sólo se ha calculado la ida, ya que la vuelta va a salir igual. En este tipo de trayecto las únicas resistencias que tienen influencia son la de rodadura y la aerodinámica. Los resultados obtenidos con el programa para este trayecto son los mismos que el trayecto de E1b, esto es debido a que la pendiente no se puede poner negativa y es nula en ambos casos y la distancia es la misma. Por este motivo los resultados de este programa son sólo una primera aproximación, ya que la energía del E1b debería ser inferior a la de E3, esto es porque la pendiente negativa de E1b crea una resistencia que va a favor del movimiento.

Los resultados para el escenario E3, de 170 kilómetros, son los siguientes.

Dimensionamiento Energético

**DATOS**

Peso (Kg).  $P$  22947

Coeficiente de rodadura,  $\mu$  0,012

Coeficiente aerodinámico,  $C_x$  0,6

Rendimiento de la transmisión,  $\eta_t$  0,85

Rendimiento del motor eléctrico,  $\eta_e$  0,95

Pendiente (%),  $n$  0

Autonomía (m),  $A$  170000

Altura del vehículo (m),  $a$  2,946

Anchura del vehículo (m),  $b$  2,24

Tensión del motor eléctrico (v),  $V$  600

Densidad energía batería (wh/Kg),  $\rho$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

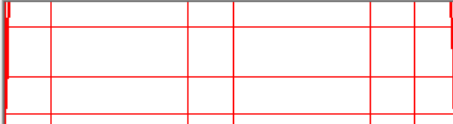
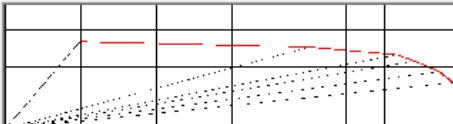
**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s),  $T$  6800

Tiempo de descarga del ciclo (s),  $T_d$  6739

Distancia del ciclo (m),  $D$  170000

Editor Ciclo de funcionamiento

**RESULTADOS**

Número de ciclos 1,00

E aceleración (Kws) 3572,09

E cruce (Kws) 08867,50

E Ciclo (Kws) 12439,60

E Total (Kwh) 225,68

Tiempo de descarga (min) 112,32

Peso de la Batería (Kg) 3052,54

% de la Capacidad de descarga en 5 h 82,98

Capacidad de la Batería (Ah) 376,13

% Peso Batería sobre peso vehículo 13,30

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 57,85

Calcular Salir

Ilustración 53 Dimensionamiento energético La Ampolla-Barcelona camión MAN

Para este trayecto de 170 kilómetros como se ha comentado la pendiente es nula. En este trayecto no hay resistencia a las pendientes, esto hace que no se necesite más energía pero que tampoco colabore en los descensos. Por tanto, el consumo de energía total en el trayecto E3 es de 225.68 kWh y un peso total de baterías de 3053 kilogramos. La carga útil se calculará una vez obtenido el peso de batería así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8237 \text{ kg}$ .

Este trayecto al tener pendiente nula es muy importante, ya que los fabricantes de vehículos industriales suelen dar las características de sus camiones con este tipo de pendiente. Estos suelen hacer sus pruebas con pendiente nula porque resulta más favorable en cuanto a consumo.

## Cálculos del MAN a plena carga con Excel

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

La tabla siguiente va a mostrar las cotas de los diferentes puntos de los tramos de la carretera. A partir de ellas se saca la pendiente de cada tramo.

Esta tabla muestra las cotas de la carretera, así como las pendientes, también incluye las velocidades (constante y unidades SI) y los tiempos que hay entre un tramo y el siguiente.

Otro comentario, esta tabla nos va a valer para los casos que se harán con el camión MAN en el escenario E2s con únicamente 4000 kilogramos de carga útil y en vacío. También sirve esta tabla para el mismo trayecto con el camión LION y todas sus variaciones de carga útil.

X (km)	X (m)	Y (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	v (km/h)	v (m/s)	t (s)	Pendiente	Pendiente (%)
0	0	215	0	90	25	0	0	0
10	10000	304	0	90	25	400	0,0089	0,89
20	20000	372	0	90	25	800	0,0068	0,68
30	30000	484	0	90	25	1200	0,0112	1,12
40	40000	546	0	90	25	1600	0,0062	0,62
50	50000	683	0	90	25	2000	0,0137	1,37
60	60000	852	0	90	25	2400	0,0169	1,69
70	70000	925	0	90	25	2800	0,0073	0,73
80	80000	1030	0	90	25	3200	0,0105	1,05
90	90000	930	0	90	25	3600	-0,01	-1
100	100000	906	0	90	25	4000	-0,0024	-0,24
110	110000	946	0	90	25	4400	0,004	0,4
120	120000	984	0	90	25	4800	0,0038	0,38
130	130000	988	0	90	25	5200	0,0004	0,04
140	140000	1009	0	90	25	5600	0,0021	0,21
150	150000	1021	0	90	25	6000	0,0012	0,12
160	160000	990	0	90	25	6400	-0,0031	-0,31
170	170000	900	0	90	25	6800	-0,009	-0,9

Ilustración 54 Características del trayecto Zaragoza-Teruel

Con el camión MAN a máxima carga útil en E2s se obtienen las siguientes resistencias, la potencia y la energía según formulación con la que obtener la masa de baterías.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	275,676	154,665	0	130567,858	0
10	275,676	154,665	204,4597	192602,07	77040827,99
20	275,676	154,665	156,2164	177964,784	71185913,56
30	275,676	154,665	257,2976	208633,383	83453353,31
40	275,676	154,665	142,4326	173782,702	69513080,87
50	275,676	154,665	314,7301	226058,724	90423489,54
60	275,676	154,665	388,2437	248363,16	99345263,9
70	275,676	154,665	167,7029	181449,852	72579940,8
80	275,676	154,665	241,2165	203754,288	81501715,17
90	275,676	154,665	-229,73	60866,4954	24346598,14
100	275,676	154,665	-55,1352	113839,531	45535812,26
110	275,676	154,665	91,892	158448,402	63379360,99
120	275,676	154,665	87,2974	157054,375	62821750,09
130	275,676	154,665	9,1892	133355,912	53342364,83
140	275,676	154,665	48,2433	145205,144	58082057,46
150	275,676	154,665	27,5676	138932,021	55572808,42
160	275,676	154,665	-71,2163	108960,435	43584174,12
170	275,676	154,665	-206,757	67836,6316	27134652,63
				Sumatorio	1078843164,08669 Ws
				Energía	299678,657 Wh
				Ebaterías	299678,657 Wh
				Peso	3027,05714 kg

*Ilustración 55 Resultados MAN Zaragoza-Teruel con Excel*

Para este trayecto de 170 kilómetros el peso de las baterías necesarias se ha obtenido de manera iterativa, teniéndose que cumplir que la P (TARA+ Carga útil) de los datos sumada a la masa de baterías sea igual a la MMA. La masa de las baterías es de 3027 kilogramos obtenido con la densidad de energía siendo la energía necesaria 300 kWh. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8263 \text{ kg}$ . Estos resultados se ajustan más a la realidad al considerar el perfil más completo de la carretera.

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

La tabla que se va a incluir va a mostrar las cotas de los diferentes puntos de los tramos de la carretera. A partir de ellas se saca la pendiente de cada tramo de 10 kilómetros. También aparecen las pendientes, las velocidades (constante y unidades SI) y los tiempos que hay entre un tramo y el siguiente.

Otro comentario, esta tabla nos va a valer para los casos que se harán con el camión MAN en el escenario E2b con únicamente 4000 kilogramos de carga útil y en vacío.

También sirve esta tabla para el mismo trayecto con el camión LION y todas sus variaciones de carga útil.

X (km)	X (m)	Y (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	v (km/h)	v (m/s)	t (s)	Pendiente	Pendiente (%)
0	0	900	0	90	25	0	0	0
10	10000	990	0	90	25	400	0,009	0,9
20	20000	1021	0	90	25	800	0,0031	0,31
30	30000	1009	0	90	25	1200	-0,0012	-0,12
40	40000	988	0	90	25	1600	-0,0021	-0,21
50	50000	984	0	90	25	2000	-0,0004	-0,04
60	60000	946	0	90	25	2400	-0,0038	-0,38
70	70000	906	0	90	25	2800	-0,004	-0,4
80	80000	930	0	90	25	3200	0,0024	0,24
90	90000	1030	0	90	25	3600	0,01	1
100	100000	925	0	90	25	4000	-0,0105	-1,05
110	110000	852	0	90	25	4400	-0,0073	-0,73
120	120000	683	0	90	25	4800	-0,0169	-1,69
130	130000	546	0	90	25	5200	-0,0137	-1,37
140	140000	484	0	90	25	5600	-0,0062	-0,62
150	150000	372	0	90	25	6000	-0,0112	-1,12
160	160000	304	0	90	25	6400	-0,0068	-0,68
170	170000	215	0	90	25	6800	-0,0089	-0,89

Ilustración 56 Características del trayecto Teruel-Zaragoza

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	287,976	154,665	0	134299,746	0
10	287,976	154,665	215,982	199829,889	79931955,42
20	287,976	154,665	74,3938	156871,24	62748495,85
30	287,976	154,665	-28,7976	125562,394	50224957,52
40	287,976	154,665	-50,3958	119009,38	47603751,83
50	287,976	154,665	-9,5992	131387,295	52554918,14
60	287,976	154,665	-91,1924	106631,464	42652585,51
70	287,976	154,665	-95,992	105175,238	42070095,36
80	287,976	154,665	57,5952	151774,451	60709780,31
90	287,976	154,665	239,98	207111,015	82844406,19
100	287,976	154,665	-251,979	57847,9133	23139165,33
110	287,976	154,665	-175,1854	81147,5195	32459007,8
120	287,976	154,665	-405,5662	11248,7009	4499480,372
130	287,976	154,665	-328,7726	34548,3071	13819322,85
140	287,976	154,665	-148,7876	89156,7591	35662703,65
150	287,976	154,665	-268,7776	52751,1245	21100449,78
160	287,976	154,665	-163,1864	84788,083	33915233,19
170	287,976	154,665	-213,5822	69497,7164	27799086,56
				Sumatorio	713735395,665635 Ws
				Energía	198259,832 Wh
				Ebaterías	198259,832 Wh
				Peso	2002,62457 kg

Ilustración 57 Resultados camión MAN Teruel-Zaragoza

Con el camión MAN a máxima carga útil en el escenario E2b se han obtenido las anteriores resistencias, la potencia y la energía según formulación con la que obtener la masa de baterías. En este trayecto a diferencia de en el contrario hay un tramo de descenso claro con pendiente negativa y únicamente algún tramo con pendiente positiva.

Para este trayecto de 170 kilómetros el peso de las baterías necesarias se ha obtenido de manera iterativa, teniéndose que cumplir que la P (TARA+ Carga útil) de los datos sumada a la masa de baterías sea igual a la MMA. La masa de las baterías es de 2002.6 kilogramos obtenido con la densidad de energía, siendo la energía necesaria 198 kWh. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 9287.4 \text{ kg}$ . Estos resultados se ajustan más a la realidad al considerar el perfil más completo de la carretera.

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

Sólo se va a analizar este recorrido en este sentido, ya que al tener pendiente nula los resultados son iguales.

La tabla siguiente muestra las cotas de los diferentes puntos de los tramos de la carretera. A partir de ellas se saca la pendiente de cada tramo de 10 kilómetros. También aparecen las pendientes, las velocidades (constante y unidades SI) y los tiempos que hay entre un tramo y el siguiente.

Otro comentario, esta tabla nos va a valer para los casos que se harán con el camión MAN en el escenario E3 con 4000 kilogramos de carga útil y en vacío. También va a servir esta para el mismo trayecto con el camión LION y todas sus variaciones de carga útil.

X (km)	X (m)	Y (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	v (km/h)	v (m/s)	t (s)	Pendiente	Pendiente (%)
0	0	8	0	90	25	0	0	0
10	10000	8	0	90	25	400	0	0
20	20000	8	0	90	25	800	0	0
30	30000	8	0	90	25	1200	0	0
40	40000	8	0	90	25	1600	0	0
50	50000	8	0	90	25	2000	0	0
60	60000	8	0	90	25	2400	0	0
70	70000	8	0	90	25	2800	0	0
80	80000	8	0	90	25	3200	0	0
90	90000	8	0	90	25	3600	0	0
100	100000	8	0	90	25	4000	0	0
110	110000	8	0	90	25	4400	0	0
120	120000	8	0	90	25	4800	0	0
130	130000	8	0	90	25	5200	0	0
140	140000	8	0	90	25	5600	0	0
150	150000	8	0	90	25	6000	0	0
160	160000	8	0	90	25	6400	0	0
170	170000	8	0	90	25	6800	0	0

*Ilustración 58 Características del trayecto La Ampolla-Barcelona*

Con ellos se obtienen los siguientes resultados para el escenario E3 con el camión MAN.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	281,688	154,665	0	132391,932	0
10	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
20	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
30	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
40	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
50	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
60	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
70	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
80	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
90	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
100	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
110	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
120	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
130	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
140	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
150	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
160	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
170	281,688	154,665	0	132391,932	52956772,76
				Sumatorio	900265136,842105 Ws
				Energía	250073,649 Wh
				Ebaterías	250073,649 Wh
				Peso	2525,99646 kg

Ilustración 59 Resultados camión MAN La Ampolla-Barcelona

Para este trayecto de 170 kilómetros el peso de las baterías necesarias se ha obtenido de manera iterativa, teniéndose que cumplir que la P (TARA+ Carga útil) de los datos sumada a la masa de baterías sea igual a la MMA. La energía que deben tener las baterías es 250 kWh. La masa de las baterías es de 2526 kilogramos obtenido con la densidad de energía. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 8764 \text{ kg}$ . Estos resultados se ajustan más a la realidad al considerar el perfil más completo de la carretera.

## Cálculos del MAN con $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ con Excel

Ahora se van a mostrar la energía de las baterías necesaria para el mismo camión MAN TGM 26.360E, la única diferencia es que ahora el camión lleva únicamente una  $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ . La P de los datos del camión con los que se hacen los cálculos de Excel será ahora  $P = TARA + Q_{\text{útil}} = TARA + 4000$ . Tras obtener todos los resultados al final se comentarán y compararán los resultados. Las características de los trayectos que hemos visto siguen siendo válidas para cada recorrido.

### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y energías.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	224,52	154,665	0	115046,842	0
10	224,52	154,665	-18,71	109370,124	43748049,54
20	224,52	154,665	26,194	122994,248	49197699,07
30	224,52	154,665	37,42	126400,279	50560111,46
40	224,52	154,665	39,291	126967,95	50787180,19
50	224,52	154,665	91,679	142862,762	57145104,64
60	224,52	154,665	-33,678	104828,749	41931499,69
70	224,52	154,665	72,969	137186,043	54874417,34
80	224,52	154,665	-48,646	100287,375	40114949,85
90	224,52	154,665	104,776	146836,464	58734585,76
100	224,52	154,665	-71,098	93475,3127	37390125,08
110	224,52	154,665	58,001	132644,669	53057867,49
120	224,52	154,665	-48,646	100287,375	40114949,85
130	224,52	154,665	18,71	120723,56	48289424,15
140	224,52	154,665	127,228	153648,526	61459410,53
150	224,52	154,665	-9,355	112208,483	44883393,19
160	224,52	154,665	-58,001	97449,0155	38979606,19
170	224,52	154,665	39,291	126967,95	50787180,19
				Sumatorio	822055554,179 Ws
				Energía	228348,765 Wh

Ilustración 60 Resultados para camión MAN Zaragoza-Logroño con 4000 kg de carga útil

Como podemos ver ahora para el escenario E1s necesitamos una energía de 228.3 kWh. Esta energía necesaria se puede observar que es menor, es normal, ya que la masa del camión influye en las tres resistencias. La batería será igual de grande que cuando vaya con masa igual a la MMA. Esto es normal, ya que las baterías no se sacan y se ponen según qué trayecto, además el motor necesita un voltaje determinado. Lo único que pasará es que ahora no consumiremos toda la energía de la batería original.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y energía necesaria.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	224,52	154,665	0	115046,842	0
10	224,52	154,665	-39,291	103125,734	41250293,5
20	224,52	154,665	58,001	132644,669	53057867,49
30	224,52	154,665	9,355	117885,201	47154080,5
40	224,52	154,665	-127,228	76445,1579	30578063,16
50	224,52	154,665	-18,71	109370,124	43748049,54
60	224,52	154,665	48,646	129806,31	51922523,84
70	224,52	154,665	-58,001	97449,0155	38979606,19
80	224,52	154,665	71,098	136618,372	54647348,61
90	224,52	154,665	-104,776	83257,2198	33302887,93
100	224,52	154,665	48,646	129806,31	51922523,84
110	224,52	154,665	-72,969	92907,6409	37163056,35
120	224,52	154,665	33,678	125264,935	50105973,99
130	224,52	154,665	-91,679	87230,9226	34892369,04
140	224,52	154,665	-39,291	103125,734	41250293,5
150	224,52	154,665	-37,42	103693,406	41477362,23
160	224,52	154,665	-26,194	107099,437	42839774,61
170	224,52	154,665	18,71	120723,56	48289424,15
				Sumatorio	742581498,452 Ws
				Energía	206272,638 Wh

*Ilustración 61 Resultados para camión MAN Logroño-Zaragoza con 4000kg de carga útil*

Como podemos ver ahora para el escenario E1b necesitamos una batería con una energía de 206.3 kWh. Esta batería se puede observar que es menor que con carga útil máxima hasta llegar a la MMA, es normal, ya que la masa del camión influye en las tres resistencias. La masa de las baterías será igual que en el caso de carga útil máximo, con esto lo único que sale a la luz es que ahora no se va a consumir toda la energía que tiene la batería.

Con todos estos resultados, se han obtenido las conclusiones y diagramas para mostrar de forma fácil las comparativas.

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias, energías y batería. Este trayecto como ya hemos visto es el que tenía una parte con la mayor pendiente, hasta que llegaba a 1030 metros de altitud y luego iba disminuyendo ligeramente hasta Teruel. A continuación, se van a ver los resultados.



X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	224,52	154,665	0	115046,842	0
10	224,52	154,665	166,519	165569,635	66227853,87
20	224,52	154,665	127,228	153648,526	61459410,53
30	224,52	154,665	209,552	178626,087	71450434,67
40	224,52	154,665	116,002	150242,495	60096998,14
50	224,52	154,665	256,327	192817,882	77127152,94
60	224,52	154,665	316,199	210983,381	84393352,32
70	224,52	154,665	136,583	156486,885	62594754,18
80	224,52	154,665	196,455	174652,384	69860953,56
90	224,52	154,665	-187,1	58279,6594	23311863,78
100	224,52	154,665	-44,904	101422,718	40569087,31
110	224,52	154,665	74,84	137753,715	55101486,07
120	224,52	154,665	71,098	136618,372	54647348,61
130	224,52	154,665	7,484	117317,529	46927011,76
140	224,52	154,665	39,291	126967,95	50787180,19
150	224,52	154,665	22,452	121858,904	48743561,61
160	224,52	154,665	-58,001	97449,0155	38979606,19
170	224,52	154,665	-168,39	63956,3777	25582551,08
				Sumatorio	937860606,811 Ws
				Energía	260516,835 Wh

*Ilustración 62 Resultados para camión MAN Zaragoza-Teruel con 4000kg de carga útil*

Como podemos ver ahora para el escenario E2s necesitamos una batería con una energía de 260.5 kWh. Esta energía como se está viendo en todos los casos es inferior a cuando se instala una carga útil máxima. Con esto lo que se demuestra es que la masa del camión influye determinantemente en el consumo de energía. Con estos resultados es con los que se han obtenido los cuadros resumen y las gráficas comparativas de todos los trayectos.

### **Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)**

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias, energías consumidas de las baterías que se necesitan para cumplir con el trayecto que une Teruel con Zaragoza. Este trayecto como estamos viendo se caracteriza por un descenso pronunciado.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	224,52	154,665	0	115046,842	0
10	224,52	154,665	168,39	166137,307	66454922,6
20	224,52	154,665	58,001	132644,669	53057867,49
30	224,52	154,665	-22,452	108234,78	43293912,07
40	224,52	154,665	-39,291	103125,734	41250293,5
50	224,52	154,665	-7,484	112776,155	45110461,92
60	224,52	154,665	-71,098	93475,3127	37390125,08
70	224,52	154,665	-74,84	92339,969	36935987,62
80	224,52	154,665	44,904	128670,966	51468386,38
90	224,52	154,665	187,1	171814,025	68725609,91
100	224,52	154,665	-196,455	55441,3003	22176520,12
110	224,52	154,665	-136,583	73606,7988	29442719,5
120	224,52	154,665	-316,199	19110,3034	7644121,362
130	224,52	154,665	-256,327	37275,8019	14910320,74
140	224,52	154,665	-116,002	79851,1889	31940475,54
150	224,52	154,665	-209,552	51467,5975	20587039,01
160	224,52	154,665	-127,228	76445,1579	30578063,16
170	224,52	154,665	-166,519	64524,0495	25809619,81
				Sumatorio	626776445,82 Ws
				Energía	174104,57 Wh

*Ilustración 63 Resultados para camión MAN Teruel-Zaragoza con 4000kg de carga útil*

Como podemos ver ahora para el escenario E2b necesitamos una batería con una energía de 174.1 kWh. Esta batería se puede observar que es menor y a su vez más pequeña también de todos los recorridos, porque la pendiente negativa es muy grande.

Esta energía es más pequeña que la del mismo trayecto con el mismo camión porque ahora se transporta únicamente 400 kilogramos de carga útil.

Por otra parte, esta energía necesaria para cumplir este trayecto es la inferior de todos los recorridos debido a que la resistencia a las pendientes en gran parte de sus tramos ayuda e impulsa al movimiento del camión.

Con estos resultados es con los que se ha obtenido los cuadros resumen y las diferentes comparativas.

### **Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)**

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y energías necesarias.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	224,52	154,665	0	115046,842	0
10	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
20	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
30	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
40	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
50	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
60	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
70	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
80	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
90	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
100	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
110	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
120	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
130	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
140	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
150	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
160	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
170	224,52	154,665	0	115046,842	46018736,84
				Sumatorio	782318526,315 Ws
				Energía	217310,70 Wh

*Ilustración 64 Resultados para camión MAN La Ampolla-Barcelona con 4000kg de carga útil*

Como podemos ver ahora para el trayecto La Ampolla-Barcelona, necesitamos una batería con una energía de 217.3 kWh, que es menor a la de la batería con carga útil máxima, ya que la masa del camión influye en las tres resistencias. También se observa que es mayor a la de Teruel-Zaragoza, ya que ahora no tenemos pendientes negativas.

Como se va a tener instalada la misma batería ahora simplemente lo que pasará es que sobrará un poco de energía que veremos al final en tablas y gráficos.

### Cálculos del MAN sin $Q_{\text{útil}}$ con Excel

Ahora se van a mostrar la energía necesaria de las baterías para el mismo camión MAN TGM 26.360E, la única diferencia es que ahora el camión no lleva carga útil,  $Q_{\text{útil}} = 0 \text{ kg}$ . La  $P$  de los datos del camión con los que se hacen los cálculos de Excel será ahora  $P = TARA$ . Tras obtener todos los resultados al final se comentarán y compararán los resultados. Las características de los trayectos que hemos visto siguen siendo válidas para cada recorrido.

### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias, energías necesarias para cumplir el trayecto sin carga útil.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	176,52	154,665	0	100483,375	0
10	176,52	154,665	-14,71	96020,2786	38408111,46
20	176,52	154,665	20,594	106731,709	42692683,59
30	176,52	154,665	29,42	109409,567	43763826,63
40	176,52	154,665	30,891	109855,876	43942350,46
50	176,52	154,665	72,079	122352,545	48941017,96
60	176,52	154,665	-26,478	92449,8019	36979920,74
70	176,52	154,665	57,369	117889,449	47155779,57
80	176,52	154,665	-38,246	88879,3251	35551730,03
90	176,52	154,665	82,376	125476,712	50190684,83
100	176,52	154,665	-55,898	83523,6099	33409443,96
110	176,52	154,665	45,601	114318,972	45727588,85
120	176,52	154,665	-38,246	88879,3251	35551730,03
130	176,52	154,665	14,71	104946,471	41978588,24
140	176,52	154,665	100,028	130832,427	52332970,9
150	176,52	154,665	-7,355	98251,8266	39300730,65
160	176,52	154,665	-45,601	86647,7771	34659110,84
170	176,52	154,665	30,891	109855,876	43942350,46
				Sumatorio	714528619,19 Ws
				Energía	198480,17 Wh

Ilustración 65 Resultados camión MAN Zaragoza-Logroño sólo con TARA

Como podemos ver ahora para el escenario E1s el camión necesita una energía de 198.5 kWh. Esta energía se observa que es inferior a la que se ha calculado para el mismo camión y trayecto, pero con carga útil máxima y con sólo 4000 kilogramos. Las baterías serán iguales sólo que ahora sobrará energía que no se consumirá. Estos resultados se muestran en la tabla resumen.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y la energía necesaria para poder hacer el trayecto sólo con la TARA.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	176,52	154,665	0	100483,375	0
10	176,52	154,665	-30,891	91110,8731	36444349,23
20	176,52	154,665	45,601	114318,972	45727588,85
30	176,52	154,665	7,355	102714,923	41085969,04
40	176,52	154,665	-100,028	70134,322	28053728,79
50	176,52	154,665	-14,71	96020,2786	38408111,46
60	176,52	154,665	38,246	112087,424	44834969,66
70	176,52	154,665	-45,601	86647,7771	34659110,84
80	176,52	154,665	55,898	117443,139	46977255,73
90	176,52	154,665	-82,376	75490,0372	30196014,86
100	176,52	154,665	38,246	112087,424	44834969,66
110	176,52	154,665	-57,369	83077,3003	33230920,12
120	176,52	154,665	26,478	108516,947	43406778,95
130	176,52	154,665	-72,079	78614,2043	31445681,73
140	176,52	154,665	-30,891	91110,8731	36444349,23
150	176,52	154,665	-29,42	91557,1827	36622873,07
160	176,52	154,665	-20,594	94235,0402	37694016,1
170	176,52	154,665	14,71	104946,471	41978588,24
				Sumatorio	652045275,54 Ws
				Energía	181123,687 Wh

*Ilustración 66 Resultados para camión MAN trayecto Logroño-Zaragoza sin carga útil*

Como podemos ver ahora para el escenario E1b necesitamos una batería con una energía de 181 kWh. Esta energía como se puede observar es ligeramente inferior a la del mismo trayecto en sentido inverso, esto es debido a que ahora se tiene una ligera pendiente negativa y la resistencia a la pendiente es negativa y colabora en el movimiento del camión.

La batería que se instalará en este camión será la misma que si el camión llevará el máximo de carga útil hasta cumplir la MMA. Lo que ocurrirá en este caso es que quedará al final de recorrido una energía sin consumir en la batería. Todo esto se ha visto en tablas resumen al final.

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y la energía necesaria para poder hacer el trayecto sólo con la TARA.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	176,52	154,665	0	100483,375	0
10	176,52	154,665	130,919	140204,929	56081971,52
20	176,52	154,665	100,028	130832,427	52332970,9
30	176,52	154,665	164,752	150470,05	60188019,81
40	176,52	154,665	91,202	128154,57	51261827,86
50	176,52	154,665	201,527	161627,789	64651115,79
60	176,52	154,665	248,599	175909,697	70363878,64
70	176,52	154,665	107,383	133063,975	53225590,09
80	176,52	154,665	154,455	147345,882	58938352,94
90	176,52	154,665	-147,1	55852,4149	22340965,94
100	176,52	154,665	-35,304	89771,9443	35908777,71
110	176,52	154,665	58,84	118335,759	47334303,41
120	176,52	154,665	55,898	117443,139	46977255,73
130	176,52	154,665	5,884	102268,613	40907445,2
140	176,52	154,665	30,891	109855,876	43942350,46
150	176,52	154,665	17,652	105839,09	42335635,91
160	176,52	154,665	-45,601	86647,7771	34659110,84
170	176,52	154,665	-132,39	60315,5108	24126204,33
				Sumatorio	805575777,09 Ws
				Energía	223771,049 Wh

*Ilustración 67 Resultados del camión MAN sólo con TARA en trayecto Zaragoza-Teruel*

Como podemos ver ahora para el escenario E2s necesitamos una batería con una energía de 223.7 kWh. Esta energía como se puede observar es superior como se ha observado con los otros tipos de cargas útiles. Esto es debido a que este trayecto es el que incorpora una mayor pendiente y en estas condiciones la resistencia de la pendiente es positiva y de módulo grande respecto al otro tipo de trayectos.

La batería que se instalará en este camión será la misma que si el camión llevará el máximo de carga útil hasta cumplir la MMA. Lo que ocurrirá en este caso es que quedará al final de recorrido una energía sin consumir en la batería. Todo esto se ha visto en tablas resumen al final.

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y la energía necesaria para poder hacer el trayecto sólo con la TARA.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	176,52	154,665	0	100483,375	0
10	176,52	154,665	132,39	140651,238	56260495,36
20	176,52	154,665	45,601	114318,972	45727588,85
30	176,52	154,665	-17,652	95127,6594	38051063,78
40	176,52	154,665	-30,891	91110,8731	36444349,23
50	176,52	154,665	-5,884	98698,1362	39479254,49
60	176,52	154,665	-55,898	83523,6099	33409443,96
70	176,52	154,665	-58,84	82630,9907	33052396,28
80	176,52	154,665	35,304	111194,805	44477921,98
90	176,52	154,665	147,1	145114,334	58045733,75
100	176,52	154,665	-154,455	53620,8669	21448346,75
110	176,52	154,665	-107,383	67902,774	27161109,6
120	176,52	154,665	-248,599	25057,0526	10022821,05
130	176,52	154,665	-201,527	39338,9598	15735583,9
140	176,52	154,665	-91,202	72812,1796	29124871,83
150	176,52	154,665	-164,752	50496,6997	20198679,88
160	176,52	154,665	-100,028	70134,322	28053728,79
170	176,52	154,665	-130,919	60761,8204	24304728,17
				Sumatorio	560998117,6
				Energía	155832,8105

*Ilustración 68 Resultados para el trayecto Teruel-Zaragoza sin carga útil del camión MAN*

Como podemos ver ahora para el escenario E2b necesitamos una batería con una energía de 155.8 kWh. Esta energía como se puede observar es inferior a la del mismo trayecto en sentido inverso, esto es debido a que ahora se tiene una pendiente negativa desde la cota más alta del trayecto a 1030 metros hasta llegar a Zaragoza, por lo cual la resistencia a la pendiente es negativa y colabora en el movimiento del camión.

La batería que se instalará en este camión será la misma que si el camión llevará el máximo de carga útil hasta cumplir la MMA. Lo que ocurrirá en este caso es que quedará al final de recorrido una energía sin consumir en la batería. Todo esto se ha visto en tablas resumen al final.

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

A continuación, vemos los cálculos de las resistencias, potencias y la energía necesaria para poder hacer el trayecto sólo con la TARA.

En este caso sólo vamos a analizar un sentido del trayecto como anteriormente porque al tener pendiente nula la energía resultante es la misma.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	176,52	154,665	0	100483,375	0
10	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
20	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
30	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
40	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
50	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
60	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
70	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
80	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
90	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
100	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
110	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
120	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
130	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
140	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
150	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
160	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
170	176,52	154,665	0	100483,375	40193349,85
				Sumatorio	683286947,368 Ws
				Energía	189801,929 Wh

*Ilustración 69 Resultados para trayecto La Ampolla-Barcelona para camión MAN sin carga útil*

Como podemos ver ahora para el escenario E3 necesitamos una batería con una energía de 198.8 kWh. Esta energía como se puede observar es superior por ejemplo a la del escenario E1b, esto es debido a que ahora no se tenga pendientes negativas. Ahora todas las resistencias a la pendiente son nulas, con lo que no aportan ni restan energía a consumir de la batería.

La batería que se instalará en este camión será la misma que si el camión llevará el máximo de carga útil hasta cumplir la MMA. Lo que ocurrirá en este caso es que quedará al final de recorrido una energía sin consumir en la batería. Todo esto se ha visto en tablas resumen al final.



## Anexo 2- Resto de resultados de escenarios para camión LION clase 8

A continuación, se muestran el resto de los resultados para carga útil máxima, con 4000 kilogramos de carga y sólo con TARA.

### Cálculos del LION a plena carga con software del departamento de IM

#### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

Este trayecto se ha separado como ya se ha visto en dos tramos, uno con una pendiente de 1.02% y el siguiente con un descenso que se pone como pendiente nula. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente imagen de la resolución como una primera aproximación que es muy útil.

**DATOS**

Peso (Kg).  $P$  21010

Coefficiente de rodadura,  $\mu$  0,012

Coefficiente aerodinámico,  $C_x$  0,6

Rendimiento de la transmisión,  $\eta_t$  0,85

Rendimiento del motor eléctrico,  $\eta_e$  0,95

Pendiente (%),  $n$  1,02

Autonomía (m),  $A$  80000

Altura del vehículo (m),  $a$  2,7178

Anchura del vehículo (m),  $b$  2,578

Tensión del motor eléctrico (v),  $V$  600

Densidad energía batería (wh/Kg),  $\rho$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

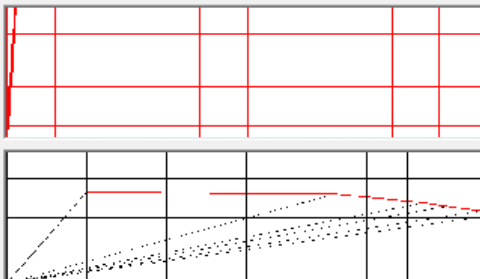
**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s),  $T$  3200

Tiempo de descarga del ciclo (s),  $T_d$  3200

Distancia del ciclo (m),  $D$  80000

Editor Ciclo de funcionamiento



**RESULTADOS**

Número de ciclos 1,00

E aceleración (Kws) 5441,22

E cruce (Kws) 69514,10

E Ciclo (Kws) 74955,30

E Total (Kwh) 159,71

Tiempo de descarga (min) 53,33

Peso de la Batería (Kg) 2136,73

% de la Capacidad de descarga en 5 h 83,89

Capacidad de la Batería (Ah) 266,18

% Peso Batería sobre peso vehículo 10,17

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 95,02

Calcular Salir

Ilustración 70 Resultados a plena carga para primer tramo entre Zaragoza y Teruel camión LION

Este tramo perteneciente al E2s tiene una dimensión de 80 kilómetros, con una pendiente neta del 1.02%, con esta pendiente positiva tan grande se tiene un consumo de energía elevado, haciendo que aumente el peso de las baterías y disminuya la carga útil.

**DATOS**

Peso (Kg).  $P$  23146.7

Coeficiente de rodadura,  $\mu$  0.012

Coeficiente aerodinámico,  $C_x$  0.6

Rendimiento de la transmisión,  $\eta_t$  0.85

Rendimiento del motor eléctrico,  $\eta_e$  0.95

Pendiente (%),  $n$  0

Autonomía (m),  $A$  90000

Altura del vehículo (m),  $a$  2.7178

Anchura del vehículo (m),  $b$  2.578

Tensión del motor eléctrico (v),  $V$  600

Densidad energía batería (wh/Kg),  $\rho$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

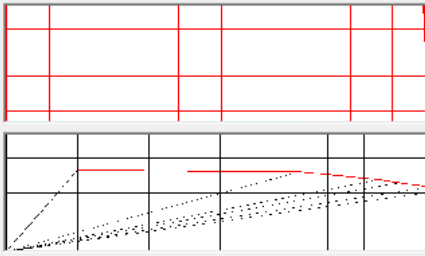
**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s),  $T$  3600

Tiempo de descarga del ciclo (s),  $T_d$  3540

Distancia del ciclo (m),  $D$  90000

Editor Ciclo de funcionamiento



**RESULTADOS**

Número de ciclos 1.00

E aceleración (Kws) 0.00

E cruce (Kws) 39430.60

E Ciclo (Kws) 39430.60

E Total (Kwh) 122.06

Tiempo de descarga (min) 59.00

Peso de la Batería (Kg) 1614.89

% de la Capacidad de descarga en 5 h 84.83

Capacidad de la Batería (Ah) 203.44

% Peso Batería sobre peso vehículo 6.98

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 58.59

Calcular Salir

Ilustración 71 Resultados del camión LION en Zaragoza-Teruel con carga útil máxima en el segundo tramo

En el primer tramo, 80 kilómetros, se necesita una energía de 159.71 kWh, con lo que usando la densidad de energía de baterías de litio la masa de las baterías es de 2136.7 kilogramos.

En el segundo tramo, los últimos 90 kilómetros, como se vio hay un pequeño descenso al alcanzar la cota más alta y Teruel capital se encuentra a menos altitud. Al haber una pequeña pendiente negativa en el programa se pone como nula (no acepta negativas).

Con todo esto la energía consumida en este segundo tramo es de 122.06 kWh. Con la densidad de energía la batería de este tramo es de 1614.9 kilogramos.

Con todo esto se obtiene un consumo de energía total de 281.76 kWh y una batería total de 3751.6 kilogramos. Como se observa el primer tramo es donde se consume más energía, ya que la resistencia a las pendientes es mucho mayor. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{util}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 9856.4 \text{ kg}$ .

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

Este trayecto se ha separado como ya se ha visto en dos tramos, uno con una pendiente de 0.144% y el siguiente con un descenso que se pone como pendiente nula. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente imagen de la resolución como una primera aproximación que es muy útil

### DATOS

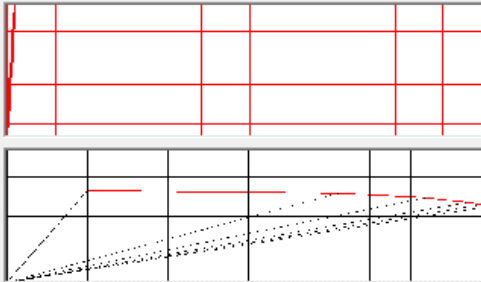
Peso (Kg).	P	21750
Coeficiente de rodadura.	$\mu$	0,012
Coeficiente aerodinámico.	Cx	0,6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0,85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0,95
Pendiente (%).	n	0,1444
Autonomía (m).	A	90000
Altura del vehículo (m).	a	2,7178
Anchura del vehículo (m).	b	2,578
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	p	99

Editor Curva Carga-Capacidad

### CICLO DE FUNCIONAMIENTO

Tiempo total del ciclo (s).	T	3600
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	3600
Distancia del ciclo (m).	D	90000

Editor Ciclo de funcionamiento



### RESULTADOS

Número de ciclos	1,00
E aceleración (Kws)	3857,30
E cruce (Kws)	55161,90
E Ciclo (Kws)	59019,20
E Total (Kwh)	127,51
Tiempo de descarga (min)	60,00
Peso de la Batería (Kg)	1607,91
% de la Capacidad de descarga en 5 h	89,00
Capacidad de la Batería (Ah)	212,51
% Peso Batería sobre peso vehículo	7,39
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	65,14

Calcular Salir

Ilustración 72 Resultados camión LION trayecto Teruel-Zaragoza con carga útil máxima (1º tramo)

### DATOS

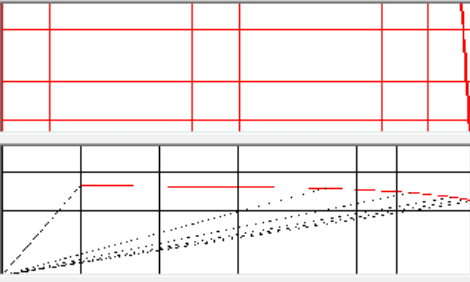
Peso (Kg).	P	23357,9
Coeficiente de rodadura.	$\mu$	0,012
Coeficiente aerodinámico.	Cx	0,6
Rendimiento de la transmisión.	$\eta_t$	0,85
Rendimiento del motor eléctrico.	$\eta_e$	0,95
Pendiente (%).	n	0
Autonomía (m).	A	80000
Altura del vehículo (m).	a	2,7178
Anchura del vehículo (m).	b	2,578
Tensión del motor eléctrico (v).	V	600
Densidad energía batería (wh/Kg).	p	99

Editor Curva Carga-Capacidad

### CICLO DE FUNCIONAMIENTO

Tiempo total del ciclo (s).	T	3200
Tiempo de descarga del ciclo (s).	Td	3140
Distancia del ciclo (m).	D	80000

Editor Ciclo de funcionamiento



### RESULTADOS

Número de ciclos	1,00
E aceleración (Kws)	0,00
E cruce (Kws)	92192,00
E Ciclo (Kws)	92192,00
E Total (Kwh)	108,94
Tiempo de descarga (min)	52,33
Peso de la Batería (Kg)	1381,75
% de la Capacidad de descarga en 5 h	88,49
Capacidad de la Batería (Ah)	181,57
% Peso Batería sobre peso vehículo	5,92
Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)	58,30

Calcular Salir

Ilustración 73 Resultados camión LION trayecto Teruel-Zaragoza con carga útil máxima (2º tramo)

En el primer tramo, 90 kilómetros, se necesita una energía de 127.51 kWh, con lo que usando la densidad de energía de baterías de litio la masa de las baterías es de 1607.9 kilogramos.

En el segundo tramo, los últimos 80 kilómetros, como se vio hay un descenso al alcanzar la cota más alta hasta Zaragoza se encuentra a menos altitud. Al haber una pequeña pendiente negativa en el programa se pone como nula (no acepta negativas).

Con todo esto la energía consumida en este segundo tramo es de 108.9 kWh. Con la densidad de energía la batería de este tramo es de 1381.75 kilogramos.

Con todo esto se obtiene un consumo de energía total de 233.4 kWh y una batería total de 2989.65 kilogramos. Como se observa el primer tramo es donde se consume más energía, ya que la resistencia a las pendientes es mucho mayor. La carga útil se calculará así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10618.35 \text{ kg}$ .

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

En este trayecto de 170 kilómetros se ha incluido una pendiente del 0%, tal y como se calculó anteriormente. Los resultados de energía consumida y de peso de baterías se ven en la siguiente imagen de la resolución como una primera aproximación que es muy útil.

Dimensionamiento Energético

**DATOS**

Peso (Kg). P 21602

Coefficiente de rodadura.  $\mu$  0.012

Coefficiente aerodinámico. Cx 0.6

Rendimiento de la transmisión.  $\eta_t$  0.85

Rendimiento del motor eléctrico.  $\eta_e$  0.95

Pendiente (%). n 0

Autonomía (m). A 170000

Altura del vehículo (m). a 2.7178

Anchura del vehículo (m). b 2.578

Tensión del motor eléctrico (v). V 600

Densidad energía batería (wh/Kg).  $\rho$  99

Editor Curva Carga-Capacidad

**CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

Tiempo total del ciclo (s). T 6800

Tiempo de descarga del ciclo (s). Td 6739

Distancia del ciclo (m). D 170000

Editor Ciclo de funcionamiento

**RESULTADOS**

Número de ciclos 1.00

E aceleración (Kws) 3496.01

E cruce (Kws) 91639.40

E Ciclo (Kws) 95135.40

E Total (Kwh) 220.87

Tiempo de descarga (min) 112.32

Peso de la Batería (Kg) 3163.50

% de la Capacidad de descarga en 5 h 78.36

Capacidad de la Batería (Ah) 368.12

% Peso Batería sobre peso vehículo 14.64

Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km) 60.14

Calcular Salir

Ilustración 74 Resultados camión LION trayecto La Ampolla-Barcelona con carga útil máxima

Para este trayecto E3 con pendiente nula se ha obtenido un consumo de energía de 220.87 kWh. El peso de las baterías resultantes es de 3163.5 kg. La carga útil máxima que se podrá llevar se obtiene así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10444.5 \text{ kg}$ . Esta energía será la mínima necesaria para cumplir con el trayecto con carga útil máxima.

## Cálculos del LION a plena carga con Excel

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

Los resultados de energía y peso de baterías necesario para este trayecto E2s son los que se van a ver a continuación. Este trayecto como ya se ha visto se caracteriza por su elevada pendiente.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	261,516	164,214572	0	129169,028	0
10	261,516	164,214572	193,9577	188016,875	75206750,02
20	261,516	164,214572	148,1924	174131,428	69652571,2
30	261,516	164,214572	244,0816	203224,746	81289898,26
40	261,516	164,214572	135,1166	170164,157	68065662,96
50	261,516	164,214572	298,5641	219755,04	87902015,91
60	261,516	164,214572	368,3017	240913,816	96365526,49
70	261,516	164,214572	159,0889	177437,487	70974994,73
80	261,516	164,214572	228,8265	198596,263	79438505,32
90	261,516	164,214572	-217,93	63047,8515	25219140,61
100	261,516	164,214572	-52,3032	113299,946	45319978,26
110	261,516	164,214572	87,172	155617,499	62246999,43
120	261,516	164,214572	82,8134	154295,075	61718030,02
130	261,516	164,214572	8,7172	131813,875	52725550,02
140	261,516	164,214572	45,7653	143054,475	57221790,02
150	261,516	164,214572	26,1516	137103,569	54841427,67
160	261,516	164,214572	-67,5583	108671,463	43468585,32
170	261,516	164,214572	-196,137	69659,9692	27863987,67
				Sumatorio	1059521414
				Energía	294311,504 Wh
				Ebaterías	294311,504 Wh
				Peso	2972,84347 kg

*Ilustración 75 Resultados de camión LION en trayecto Zaragoza-Teruel con carga útil máxima*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto E2s es 294.3kWh. Con la densidad de energía obtenemos un peso de baterías de 2972.84 kg. La carga útil máxima que se podrá llevar se obtiene así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 10635.2 \text{ kg}$ . Como vemos es relativamente más pequeña porque la resistencia a la pendiente hace que se consuma más energía.

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

Los resultados de energía y peso de baterías necesario para este trayecto son los que se van a ver a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	273,18	164,214572	0	132707,951	0
10	273,18	164,214572	204,885	194871,201	77948480,55
20	273,18	164,214572	70,5715	154119,737	61647894,79
30	273,18	164,214572	-27,318	124419,517	49767806,87
40	273,18	164,214572	-47,8065	118203,192	47281276,83
50	273,18	164,214572	-9,106	129945,139	51978055,78
60	273,18	164,214572	-86,507	106461,245	42584497,89
70	273,18	164,214572	-91,06	105079,839	42031935,66
80	273,18	164,214572	54,636	149284,817	59713926,99
90	273,18	164,214572	227,65	201778,229	80711291,7
100	273,18	164,214572	-239,0325	60184,158	24073663,21
110	273,18	164,214572	-166,1845	82286,6472	32914658,88
120	273,18	164,214572	-384,7285	15979,1797	6391671,881
130	273,18	164,214572	-311,8805	38081,6689	15232667,55
140	273,18	164,214572	-141,143	89884,3778	35953751,14
150	273,18	164,214572	-254,968	55349,2385	22139695,41
160	273,18	164,214572	-154,802	85740,1611	34296064,45
170	273,18	164,214572	-202,6085	71235,4026	28494161,04
				Sumatorio	713161500,6
				Energía	198100,417 Wh
				Ebaterías	198100,417 Wh
				Peso	2001,01431 kg

Ilustración 76 Resultados camión LION a carga útil máxima Teruel-Zaragoza

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto E2b es 198.1 kWh. Con la densidad de energía obtenemos un peso de baterías de 2001.01kg. La carga útil máxima que se podrá llevar se obtiene así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 11607 \text{ kg}$ . Como podemos ver ahora tenemos una pendiente negativa pronunciada y la resistencia a la pendiente colabora haciendo que se necesite menos energía.

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

Este trayecto como se ha visto se diferencia del resto por tener una pendiente nula lo que lo hace útil a la hora de comparar resultados. Los resultados de energía y peso de baterías necesario para este trayecto son los que se van a ver a continuación. Sólo se analiza un sentido, ya que el otro es igual por no tener pendiente.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	267,228	164,214572	0	130902,081	0
10	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
20	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
30	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
40	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
50	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
60	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
70	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
80	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
90	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
100	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
110	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
120	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
130	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
140	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
150	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
160	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
170	267,228	164,214572	0	130902,081	52360832,25
				Sumatorio	890134148,3
				Energía	247259,486 Wh
				Ebaterías	247259,486 Wh
				Peso	2497,57056 kg

Ilustración 77 Resultados de camión LION trayecto La Ampolla-Barcelona carga útil máxima

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 247.25 kWh. Con la densidad de energía obtenemos un peso de baterías de 2497.57 kg. La carga útil máxima que se podrá llevar se obtiene así:  $Q_{\text{útil}} = MMA - TARA - P_{\text{bat}} = 11110.4 \text{ kg}$ .

### Cálculos del LION con $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ con Excel

Ahora se van a mostrar la energía de las baterías necesaria para el mismo camión LION clase 8, la única diferencia es que ahora el camión lleva únicamente una  $Q_{\text{útil}} = 4000 \text{ kg}$ . La P de los datos del camión con los que se hacen los cálculos de Excel será ahora  $P = TARA + Q_{\text{útil}} = TARA + 4000$ . Tras obtener todos los resultados al final se comentarán y compararán los resultados. Las características de los trayectos que hemos visto siguen siendo válidas para cada recorrido.

Ahora sólo interesa saber la energía consumida, ya que las baterías van a ser iguales. La única diferencia es que una parte de la energía de la batería no se consumirá.

Se observa en todos los casos que la energía es menor.



### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	181,896	164,214572	0	105011,876	0
10	181,896	164,214572	-15,158	100412,855	40165141,85
20	181,896	164,214572	21,2212	111450,507	44580202,65
30	181,896	164,214572	30,316	114209,92	45683967,86
40	181,896	164,214572	31,8318	114669,822	45867928,72
50	181,896	164,214572	74,2742	127547,082	51018833
60	181,896	164,214572	-27,2844	96733,6373	38693454,91
70	181,896	164,214572	59,1162	122948,061	49179224,33
80	181,896	164,214572	-39,4108	93054,4199	37221767,98
90	181,896	164,214572	84,8848	130766,398	52306559,06
100	181,896	164,214572	-57,6004	87535,5939	35014237,58
110	181,896	164,214572	46,9898	119268,843	47707537,39
120	181,896	164,214572	-39,4108	93054,4199	37221767,98
130	181,896	164,214572	15,158	109610,898	43844359,19
140	181,896	164,214572	103,0744	136285,224	54514089,47
150	181,896	164,214572	-7,579	102712,365	41084946,18
160	181,896	164,214572	-46,9898	90754,9091	36301963,65
170	181,896	164,214572	31,8318	114669,822	45867928,72
				Sumatorio	746273910,51 Ws
				Energía	207298,30 Wh

*Ilustración 78 Resultados LION Zaragoza-Logroño 4000 kg carga*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 207.3 kWh.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	181,896	164,214572	0	105011,876	0
10	181,896	164,214572	-31,8318	95353,9308	38141572,31
20	181,896	164,214572	46,9898	119268,843	47707537,39
30	181,896	164,214572	7,579	107311,387	42924554,85
40	181,896	164,214572	-103,0744	73738,5289	29495411,57
50	181,896	164,214572	-15,158	100412,855	40165141,85
60	181,896	164,214572	39,4108	116969,333	46787733,06
70	181,896	164,214572	-46,9898	90754,9091	36301963,65
80	181,896	164,214572	57,6004	122488,159	48995263,46
90	181,896	164,214572	-84,8848	79257,3549	31702941,97
100	181,896	164,214572	39,4108	116969,333	46787733,06
110	181,896	164,214572	-59,1162	87075,6918	34830276,71
120	181,896	164,214572	27,2844	113290,115	45316046,12
130	181,896	164,214572	-74,2742	82476,6701	32990668,04
140	181,896	164,214572	-31,8318	95353,9308	38141572,31
150	181,896	164,214572	-30,316	95813,833	38325533,18
160	181,896	164,214572	-21,2212	98573,246	39429298,38
170	181,896	164,214572	15,158	109610,898	43844359,19
				Sumatorio	681887607,1
				Energía	189413,2242

*Ilustración 79 Resultados LION Logroño-Zaragoza con 4000 kg de carga útil*



Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 189.4 kWh.

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	181,896	164,214572	0	105011,876	0
10	181,896	164,214572	134,9062	145943,169	58377267,67
20	181,896	164,214572	103,0744	136285,224	54514089,47
30	181,896	164,214572	169,7696	156520,919	62608367,61
40	181,896	164,214572	93,9796	133525,811	53410324,26
50	181,896	164,214572	207,6646	168018,473	67207389,28
60	181,896	164,214572	256,1702	182735,343	73094137,02
70	181,896	164,214572	110,6534	138584,735	55433893,8
80	181,896	164,214572	159,159	153301,604	61320641,54
90	181,896	164,214572	-151,58	59021,6596	23608663,83
100	181,896	164,214572	-36,3792	93974,2243	37589689,71
110	181,896	164,214572	60,632	123407,963	49363185,19
120	181,896	164,214572	57,6004	122488,159	48995263,46
130	181,896	164,214572	6,0632	106851,485	42740593,99
140	181,896	164,214572	31,8318	114669,822	45867928,72
150	181,896	164,214572	18,1896	110530,702	44212280,92
160	181,896	164,214572	-46,9898	90754,9091	36301963,65
170	181,896	164,214572	-136,422	63620,6813	25448272,5
				Sumatorio	840093952,62 Ws
				Energía	233359,43 Wh

*Ilustración 80 Resultados LION Zaragoza-Teruel 4000 kg carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 233.35kWh.

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	181,896	164,214572	0	105011,876	0
10	181,896	164,214572	136,422	146403,071	58561228,54
20	181,896	164,214572	46,9898	119268,843	47707537,39
30	181,896	164,214572	-18,1896	99493,0503	39797220,12
40	181,896	164,214572	-31,8318	95353,9308	38141572,31
50	181,896	164,214572	-6,0632	103172,268	41268907,05
60	181,896	164,214572	-57,6004	87535,5939	35014237,58
70	181,896	164,214572	-60,632	86615,7896	34646315,84
80	181,896	164,214572	36,3792	116049,528	46419811,32
90	181,896	164,214572	151,58	151002,093	60400837,21
100	181,896	164,214572	-159,159	56722,1487	22688859,5
110	181,896	164,214572	-110,6534	71439,0181	28575607,24
120	181,896	164,214572	-256,1702	27288,41	10915364,02
130	181,896	164,214572	-207,6646	42005,2794	16802111,76
140	181,896	164,214572	-93,9796	76497,9419	30599176,77
150	181,896	164,214572	-169,7696	53502,8336	21401133,43
160	181,896	164,214572	-103,0744	73738,5289	29495411,57
170	181,896	164,214572	-134,9062	64080,5834	25632233,37
				Sumatorio	588067565 Ws
				Energía	163352,10 Wh

*Ilustración 81 Resultados LION Teruel-Zaragoza con 4000 kg de carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 163.35 kWh.

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	181,896	164,214572	0	105011,876	0
10	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
20	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
30	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
40	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
50	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
60	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
70	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
80	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
90	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
100	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
110	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
120	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
130	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
140	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
150	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
160	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
170	181,896	164,214572	0	105011,876	42004750,52
				Sumatorio	714080758,8 Ws
				Energía	198355,76 Wh

Ilustración 82 Resultados LION La Ampolla-Barcelona con 4000 kg de carga útil

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 198.355kWh.

### Cálculos del LION sin $Q_{\text{útil}}$ con Excel

Ahora se van a mostrar la energía de las baterías necesaria para el mismo camión LION clase 8, la única diferencia es que ahora el camión no lleva carga útil ( $Q_{\text{útil}} = 0 \text{ kg}$ ). La P de los datos del camión con los que se hacen los cálculos de Excel será ahora  $P = TARA$ . Tras obtener todos los resultados al final se comentarán y compararán los resultados. Las características de los trayectos que hemos visto siguen siendo válidas para cada recorrido.

Ahora sólo interesa saber la energía consumida, ya que las baterías van a ser iguales. La única diferencia es que una parte de la energía de la batería no se consumirá.

Se observa en todos los casos que la energía consumida es menor.

### Trayecto Zaragoza – Logroño (E1s)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	133,896	164,214572	0	90448,4088	0
10	133,896	164,214572	-11,158	87063,0094	34825203,77
20	133,896	164,214572	15,6212	95187,9679	38075187,17
30	133,896	164,214572	22,316	97219,2076	38887683,03
40	133,896	164,214572	23,4318	97557,7475	39023099
50	133,896	164,214572	54,6742	107036,866	42814746,31
60	133,896	164,214572	-20,0844	84354,6899	33741875,97
70	133,896	164,214572	43,5162	103651,466	41460586,56
80	133,896	164,214572	-29,0108	81646,3704	32658548,17
90	133,896	164,214572	62,4848	109406,645	43762658,13
100	133,896	164,214572	-42,4004	77583,8912	31033556,46
110	133,896	164,214572	34,5898	100943,147	40377258,75
120	133,896	164,214572	-29,0108	81646,3704	32658548,17
130	133,896	164,214572	11,158	93833,8082	37533523,27
140	133,896	164,214572	75,8744	113469,125	45387649,84
150	133,896	164,214572	-5,579	88755,7091	35502283,65
160	133,896	164,214572	-34,5898	79953,6707	31981468,29
170	133,896	164,214572	23,4318	97557,7475	39023099
				Sumatorio	638746975,53 Ws
				Energía	177429,71 Wh

*Ilustración 83 Resultados de LION Zaragoza-Logroño sin carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 177.4 kWh.

### Trayecto Logroño – Zaragoza (E1b)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	133,896	164,214572	0	90448,4088	0
10	133,896	164,214572	-23,4318	83339,0701	33335628,04
20	133,896	164,214572	34,5898	100943,147	40377258,75
30	133,896	164,214572	5,579	92141,1085	36856443,4
40	133,896	164,214572	-75,8744	67427,693	26971077,21
50	133,896	164,214572	-11,158	87063,0094	34825203,77
60	133,896	164,214572	29,0108	99250,4472	39700178,88
70	133,896	164,214572	-34,5898	79953,6707	31981468,29
80	133,896	164,214572	42,4004	103312,926	41325170,58
90	133,896	164,214572	-62,4848	71490,1723	28596068,91
100	133,896	164,214572	29,0108	99250,4472	39700178,88
110	133,896	164,214572	-43,5162	77245,3512	30898140,49
120	133,896	164,214572	20,0844	96542,1277	38616851,08
130	133,896	164,214572	-54,6742	73859,9518	29543980,74
140	133,896	164,214572	-23,4318	83339,0701	33335628,04
150	133,896	164,214572	-22,316	83677,61	33471044,02
160	133,896	164,214572	-15,6212	85708,8497	34283539,87
170	133,896	164,214572	11,158	93833,8082	37533523,27
				Sumatorio	591351384,20 Ws
				Energía	164264,27 Wh

*Ilustración 84 Resultados LION Logroño-Zaragoza sin carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 164.26 kWh

### Trayecto Zaragoza – Teruel (E2s)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	133,896	164,214572	0	90448,4088	0
10	133,896	164,214572	99,3062	120578,463	48231385,32
20	133,896	164,214572	75,8744	113469,125	45387649,84
30	133,896	164,214572	124,9696	128364,882	51345952,75
40	133,896	164,214572	69,1796	111437,885	44575153,99
50	133,896	164,214572	152,8646	136828,38	54731352,13
60	133,896	164,214572	188,5702	147661,658	59064663,34
70	133,896	164,214572	81,4534	115161,824	46064729,71
80	133,896	164,214572	117,159	125995,102	50398040,92
90	133,896	164,214572	-111,58	56594,415	22637766
100	133,896	164,214572	-26,7792	82323,4503	32929380,12
110	133,896	164,214572	44,632	103990,006	41596002,53
120	133,896	164,214572	42,4004	103312,926	41325170,58
130	133,896	164,214572	4,4632	91802,5686	36721027,42
140	133,896	164,214572	23,4318	97557,7475	39023099
150	133,896	164,214572	13,3896	94510,8881	37804355,22
160	133,896	164,214572	-34,5898	79953,6707	31981468,29
170	133,896	164,214572	-100,422	59979,8144	23991925,75
				Sumatorio	707809122,9 Ws
				Energía	196613,64 Wh

*Ilustración 85 Resultados Zaragoza-Teruel para LION sin carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 196.96kWh.

### Trayecto Teruel – Zaragoza (E2b)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	133,896	164,214572	0	90448,4088	0
10	133,896	164,214572	100,422	120917,003	48366801,29
20	133,896	164,214572	34,5898	100943,147	40377258,75
30	133,896	164,214572	-13,3896	86385,9295	34554371,82
40	133,896	164,214572	-23,4318	83339,0701	33335628,04
50	133,896	164,214572	-4,4632	89094,2491	35637699,62
60	133,896	164,214572	-42,4004	77583,8912	31033556,46
70	133,896	164,214572	-44,632	76906,8113	30762724,51
80	133,896	164,214572	26,7792	98573,3673	39429346,93
90	133,896	164,214572	111,58	124302,403	49720961,04
100	133,896	164,214572	-117,159	54901,7153	21960686,12
110	133,896	164,214572	-81,4534	65734,9933	26293997,33
120	133,896	164,214572	-188,5702	33235,1593	13294063,71
130	133,896	164,214572	-152,8646	44068,4373	17627374,91
140	133,896	164,214572	-69,1796	69458,9326	27783573,06
150	133,896	164,214572	-124,9696	52531,9357	21012774,3
160	133,896	164,214572	-75,8744	67427,693	26971077,21
170	133,896	164,214572	-99,3062	60318,3543	24127341,73
				Sumatorio	522289236,83 Ws
				Energía	145080,34 Wh

*Ilustración 86 Resultados de LION Teruel-Zaragoza sin carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 145.08 kWh.

### Trayecto La Ampolla – Barcelona (E3)

Los resultados de energía necesaria para este trayecto es lo que se verá a continuación.

X (km)	Rr	Ra	Rp	Potencia	Energía
0	133,896	164,214572	0	90448,4088	0
10	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
20	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
30	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
40	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
50	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
60	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
70	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
80	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
90	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
100	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
110	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
120	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
130	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
140	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
150	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
160	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
170	133,896	164,214572	0	90448,4088	36179363,52
				Sumatorio	615049179,87 Ws
				Energía	170846,99 Wh

*Ilustración 87 Resultados LION La Ampolla-Barcelona sin carga útil*

Como vemos la energía necesaria para cumplir con este trayecto es 170.85 kWh. Este trayecto sólo lo vamos a analizar en este sentido ya que al no haber pendiente los resultados son iguales. La resistencia a la pendiente en todos los tramos es nula.

### Anexo 3- Datos técnicos del camión MAN TGM 36.360 E

MAN TGM 26.360 E			
		Accionamiento	100% eléctrico
		Tipo	6x2 (3 ejes)
	Motor	Tipo	PSM (motor síncrono de excitación permanente)
		Potencia máxima	264 kW (360 CV)
		Par	3100 Nm
		Cambio	desmultiplicación fija sin caja de cambios manual
		Desmultiplicación total (incluido eje trasero)	i=7,5 (velocidad del motor a 85 km/h es 3580 rpm)
		Velocidad máxima	85 km/h
	Motor elegido	Tipo de motor	SUMO MD HV 2600-6P 600 V
		Tipo de inversor	CO 200-HV
		Peso motor	212 kg
		Peso inversor	26 kg
		Ancho x Alto x Profundo motor (mm)	478x452x478
		Ancho x Alto x Profundo inversor (mm)	424x143x670
		Protección del sistema	IP 69K
		Temperatura máxima refrigerante	65 °C
		Tipo de refrigerante	40/60 agua/glicol
		Materiales tóxicos e inflamabilidad	ROHS, ELV, UL94-V0
		Resistencia a la corrosión externa	niebla salina, grava, productos químicos
		Potencia máxima (kW)	265
		Potencia continua (kW)	155
		Par continuo (Nm)	970
		Par máximo (Nm)	2760
		Fases	6
	Batería	Tipo	ión de litio
		Número	12 packs
		Capacidad total	185 kWh
Carga	CA	a 22 kW	8-9 horas
	CC	a 44 kW	5 horas
		a 150 kW	90 minutos
		Recarga	Freno motor y pedal de freno
		Refrigeración	Sí
		Autonomía	180 km
	Pesos	Tara con carrocería	14710 kg
		Peso máximo autorizado	26000 kg
		Remolque	Sí admite
		Capacidad	12 palés
	Chasis	Suspensión delantera	Neumática
		Suspensión trasera	Neumática
		Distancia entre ejes	4725 mm + 1350 mm
		Voladizo	2675 mm
	Cabina	Ancho	2240 mm
		Alto	2946 mm
		Largo	1620 mm

Ilustración 88 Tabla de datos técnicos del camión MAN

## Curvas de desempeño

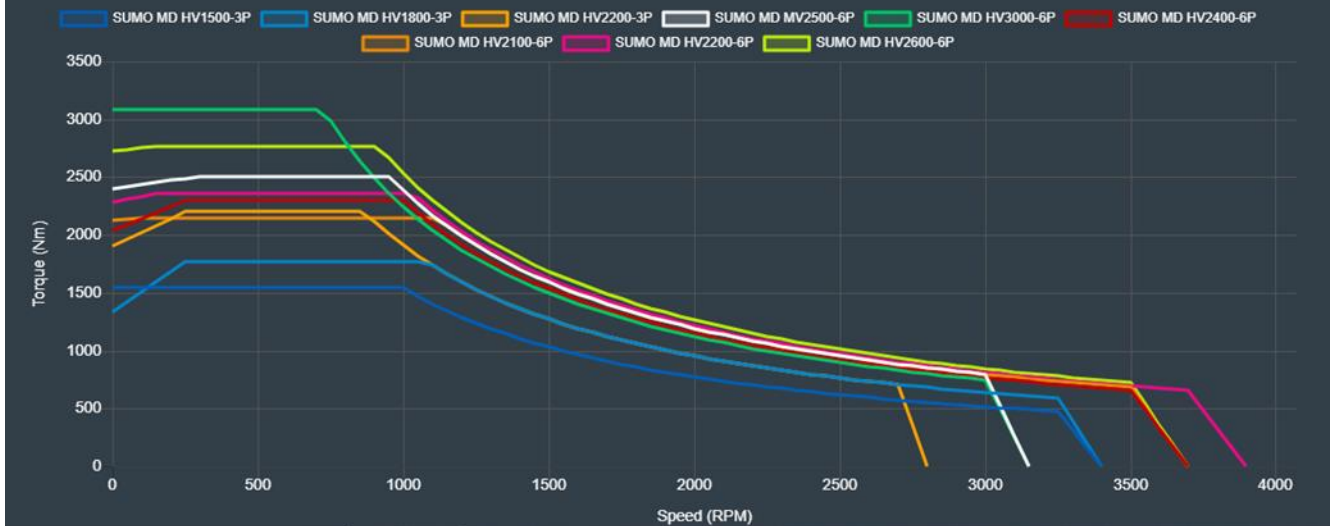


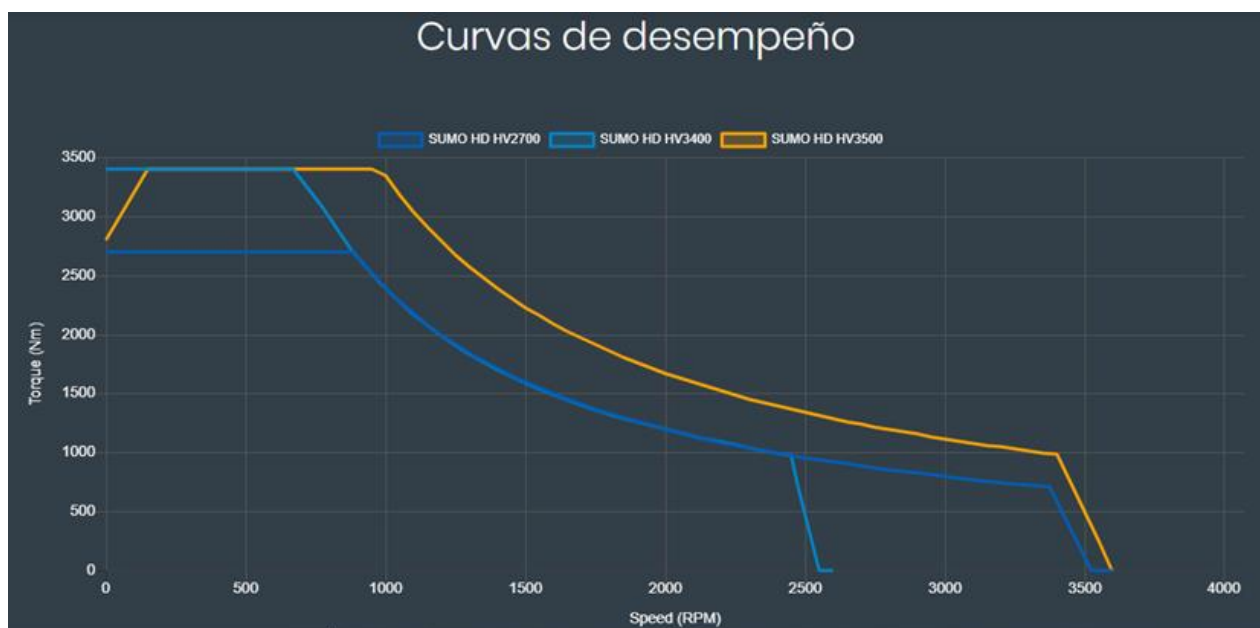
Ilustración 89 Curva del motor HV2600 del camión MAN

## Anexo 4- Datos técnicos del camión LION clase 8

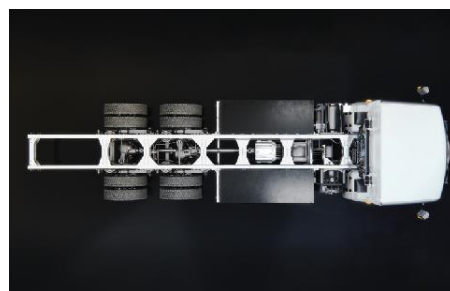
	LION clase 8	
	Accionamiento	100% eléctrico
DIMENSIONES Y PESOS	Longitud cabina	1530,4 mm
	Ancho cabina	2578 mm
	Altura cabina	2717,8 mm
	Distancia entre ejes	5588 mm
	Peso en vacío	11158 kg
	Clasificación de peso bruto del vehículo (GVWR)	24766 kg
TREN ELÉCTRICO	Velocidad máxima	105 km/h
	Autonomía	400 km
	Tipo motor	SUMO HD HV3500 9 fases (TM4 Dana) 600V
	Tipo inversor	CO 300-HV
	Protección del sistema	IP 69K
	Temperatura máxima refrigerante	65 °C
	Tipo de refrigerante	40/60 agua/glicol
	Materiales tóxicos e inflamabilidad	ROHS, ELV, UL94-VO
	Resistencia a la corrosión externa	niebla salina, grava, productos químicos
	Potencia máxima	350 kW
	Potencia continua	260 kW
	Par máximo	3400 Nm
	Par continuo	1830 Nm
	Velocidad máxima operativa del motor	3400 rpm
	Peso motor	340 kg
	Peso inversor	36 kg
	Ancho x alto x profundo motor (mm)	505x572x505
	Ancho x alto x profundo inversor (mm)	414x125x801
	Capacidad batería	480 kWh
	Tipo batería	ión Litio LG Chem (NMC)
	Potencia de carga	20-100 kW
	Tiempo de carga	2,5-16 horas
	Tipo de recarga	nivel 2 y 3
	Transmisión	Directa de accionamiento (sin transmisión)
CHASIS	Eje delantero	6622 kg/14600 lb (Hendrickson)
	Eje trasero	en tandem 9027 kg/40000 lb (Dana)
	Suspensión	de aire (Hendrickson)
	Frenado	Circuitos de aire Bendix

Ilustración 90 Datos técnicos del camión LION clase 8





*Ilustración 91 Curva del motor HV3500*



## CAMION URBAIN DE CLASSE 8, 100% ÉLECTRIQUE

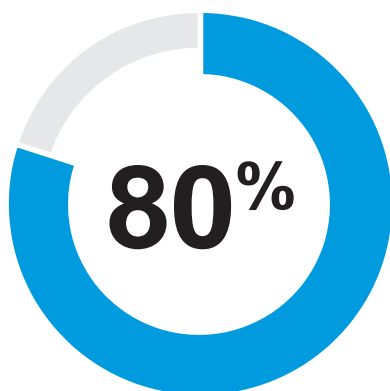
**Le LION8 a été pensé, conçu et fabriqué pour l'électrique.**

C'est avec une technologie éprouvée que Lion transpose son expertise reconnue en électrification des transports sur un camion urbain spécialement adapté à ses utilisateurs. L'élimination de la pollution sonore, l'optimisation de la visibilité ainsi que le rayon de braquage inégalé rendent le LION8 des plus agréables à manœuvrer. L'expérience de conduite et la sécurité s'en trouvent donc optimisées. Les composants du LION8 en font un véhicule nécessitant très peu d'entretien; ce qui minimise son coût de possession total.

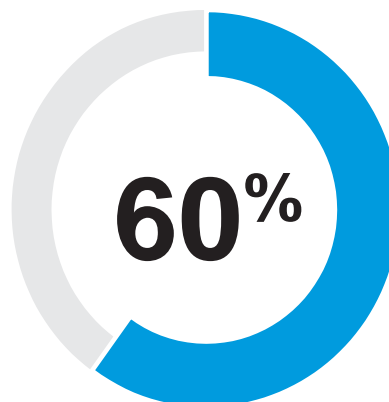
Le transport urbain commercial n'aura jamais été aussi avantageux pour notre planète, notre société et notre qualité de vie.

**Chez Lion, nous vous offrons une solution clé en main afin de faciliter votre transition vers l'électrique.**

## ÉCONOMIES ÉLECTRIQUE VS DIÉSEL



**RÉDUCTION DES  
COÛTS D'ÉNERGIE**



**RÉDUCTION DES  
COÛTS D'ENTRETIEN**

## SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

<b>DIMENSIONS &amp; POIDS</b>	Longueur de la Cabine	1 530.4 mm // 60.25 po
	Largeur de la Cabine	2 578 mm // 101.5 po
	Hauteur de la Cabine	2 717.8 mm // 107 po
	Empattement	5 588 mm // 220 po **
	Poids à Vide	11 158 kg // 24 600 lb
	Poids Nominal Brut du Véhicule (PNBV)	24 766 kg // 54 600 lb
<b>GROUPE MOTOPROPULSEUR ÉLECTRIQUE</b>	Vitesse Maximale	105 km/h // 65 mi/h
	Puissance Maximale	350 kW // 470 HP
	Couple Maximal	3 400 Nm // 2507 ft·lb
	Autonomie	Jusqu'à 400 km // 250 miles
	Capacité de Batterie	Jusqu'à 480 kWh
	Moteur & Onduleur	SUMO HD HV3500-9 Phases // TM4 / Dan
	Transmission	Entraînement Direct // Sans Transmission
	Puissance de Recharge	20 - 100 kW
	Temps de Recharge	2.5 - 16 heures
<b>CHÂSSIS</b>	Type de Recharge	Niveau II & III
	Essieu Avant	6 622 kg / 14 600 lb // Hendrickson
	Essieu Arrière	Tandem 9 027 kg / 40 000 lb // Dana
	Suspension	Suspension Pneumatique // Hendrickson
	Freinage	Disques à Air // Bendix

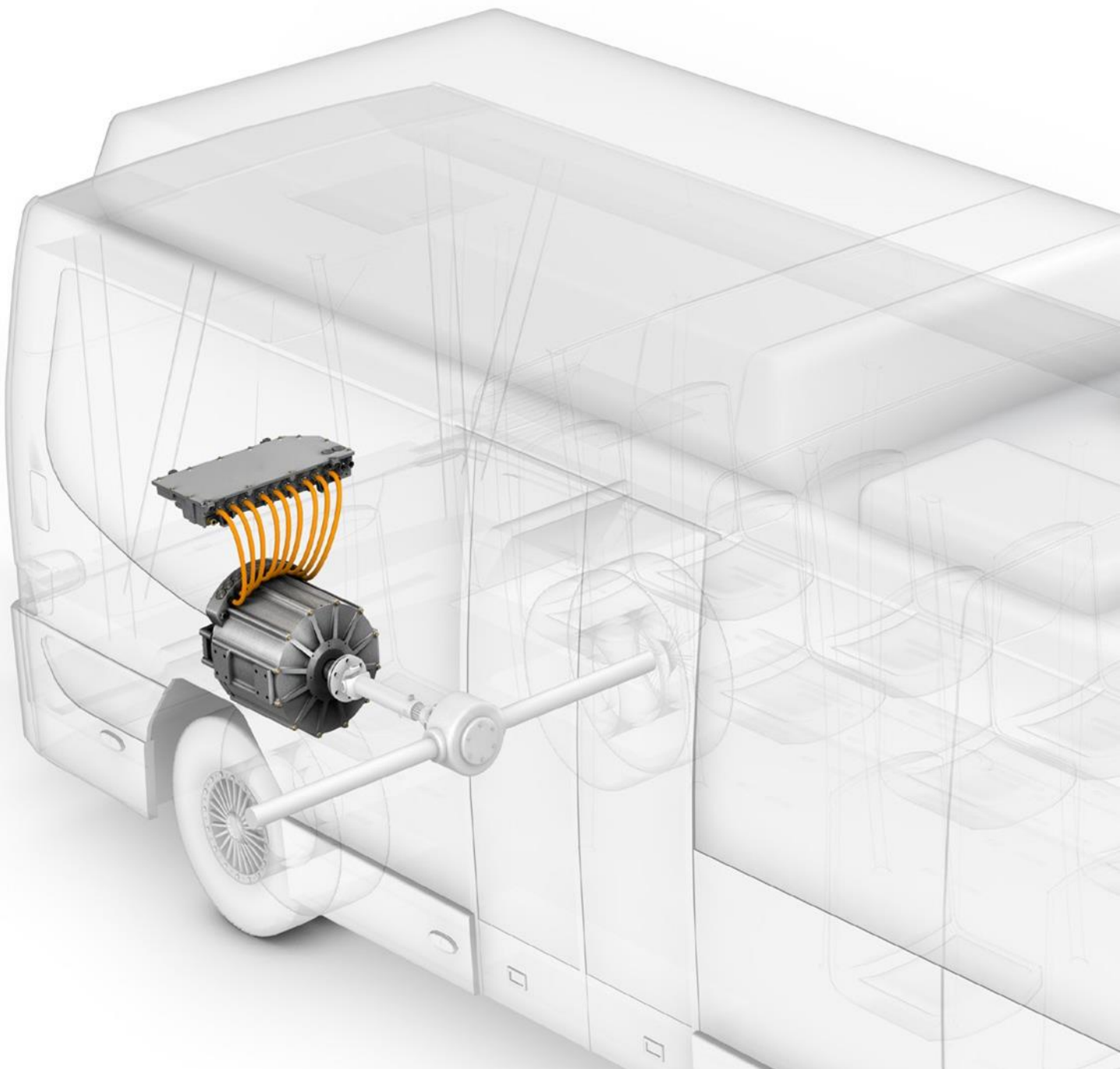
\* Les spécifications peuvent varier et sont personnalisées selon l'application et le besoin du client

\*\* Plusieurs empattements disponibles

## Anexo 5- Catálogo de datos técnicos de los motores de ambos camiones



direct-drive electric  
powertrain systems





TM4 SUMO™ family of products consists of high-torque electric powertrain systems for electric and hybrid commercial vehicle applications. Multiple motor models

with varying sizes paired with a choice of medium (<450 Vdc) or high voltage (<750 Vdc) inverters provide a wide range of solutions to your electric or hybrid propulsion needs. These high torque/low speed permanent magnet motors are designed to interface with standard rear differentials without the need for an intermediate gearbox.

More than 100 breakthrough patents combine to deliver unmatched efficiency and quality in a unit designed to meet the industry's highest requirements.



### CONTROLLER FEATURES

- Medium (<450 Vdc) or high (<750 Vdc) voltage inverter
- Reflex™ gate driver
- technology EMI filter
- Best-in-class power density
- 3-phase or multi-phase inverters
- High efficiency

### MOTOR FEATURES

- Proven permanent magnet technology for optimal efficiency
- Outer rotor topology for maximum torque density
- Low electro-magnetic noise
- Low-cogging torque for better
- NVH Four-quadrant operation
- Double-ended shaft option

### SOFTWARE FEATURES

- Compatible with TM4's advanced diagnostic software suite
- CAN 2.0b communication interface
- Torque or speed control



## COMMON CHARACTERISTICS

Peak system efficiency	94%
Max coolant temperature	65°C
Coolant type	40/60 water-glycol

Developed for performance and durability, TM4 SUMO™

systems are optimized for medium- and heavy-duty electric and hybrid vehicles such as 6-18 meter buses, delivery trucks, shuttles, tow tractors and more. By allowing direct drive operation, TM4 SUMO systems reduce powertrain complexity and cost, allowing for a simple, efficient and low-maintenance solution. A direct drive system yields over 10% efficiency gains throughout the driving cycle, representing an equivalent gain in battery usage. Some of TM4's SUMO systems are offered with a double-ended shaft option, allowing for easy integration in many hybrid-electric powertrain

## APPLICATIONS

- City buses
- Delivery trucks
- Tow tractors
- Mining vehicles
- Marine applications
- Shuttles

## SPECIFICATIONS

600 Vdc, 30 seconds or more, 45°C

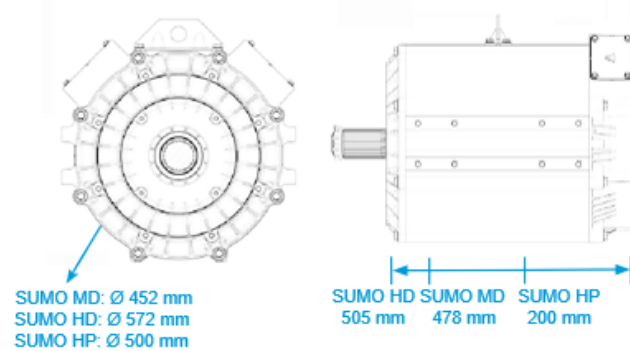
SUMO MD	MOTOR + INVERTER	PHASES	PEAK POWER (kW)	CONTINUOUS POWER (kW)	PEAK TORQUE (Nm)	CONTINUOUS TORQUE (Nm)	MAX OPERATING SPEED (RPM)
	SUMO MD HV1500-3P	3	162	100	1590	680	3250
	SUMO MD HV1800-3P	3	170	100	1770	680	3250
	SUMO MD HV2200-3P	3	200	145	2200	1150	2700
	SUMO MD MV2500-6P	6	230 <sup>1</sup>	115	2500	1140	3000
	SUMO MD HV2100-6P	6	235	130	2150	685	3500
	SUMO MD HV3000-6P	6	235	140	3255	1065	3000
	SUMO MD HV2400-6P	6	240	120	2300	605	3500
	SUMO MD HV2200-6P	6	255	190	2355	990	3700
	SUMO MD HV2600-6P	6	265	155	2760	970	3500
SUMO HD	MOTOR + INVERTER	PHASES	PEAK POWER (kW)	CONTINUOUS POWER (kW)	PEAK TORQUE (Nm)	CONTINUOUS TORQUE (Nm)	MAX OPERATING SPEED (RPM)
	SUMO HD HV2700-9P	9	250	195	2700	2060	3375
	SUMO HD HV3400-9P	9	250	195	3400	2060	2450
	SUMO HD HV3500-9P	9	350	260	3500	1830	3400
SUMO HP	GENERATOR + INVERTER	PHASES	ELECTRICAL PEAK POWER (kW)	ELECTRICAL CONT. POWER (kW)	PEAK TORQUE (Nm)	CONTINUOUS TORQUE (Nm)	MAX OPERATING SPEED (RPM)
	SUMO HP HV900-3P	3	220	160	915	624	2800

<sup>1</sup> 350 Vdc, 30 seconds, 45°C  
Specifications are subject to change

## WEIGHT AND DIMENSIONS

SYSTEM	PART	WEIGHT (kg)	LENGTH (mm)
SUMO HD-9P	LSM280 motor	340	505
	CO300 inverter	36	801
SUMO MD-6P	LSM200 motor	212	478
	LSM140 motor	180	419
	CO200 inverter	26	670
SUMO MD-3P	LSM110 motor	180	411
	CO150 inverter	11	416
SUMO HP-3P	LSG130 generator	100	200
	CO150 inverter	11	416

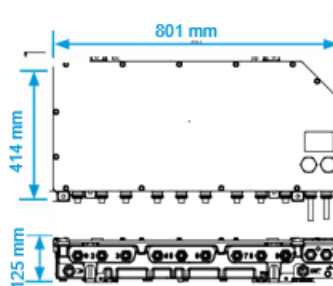
### Motors/generators



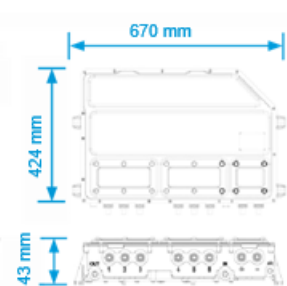
## STANDARDS

Automotive components	AEC-Q100 AEC-Q101 ACE-Q200
Electromagnetic compatibility EMC	Main automotive international standards
System protection	IP6K5 (IP69K optional)
Toxic materials and flammability	ROHS, ELV, UL94-VO

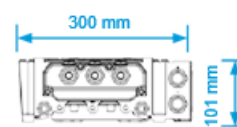
### CO300 inverter



### CO200 inverter



### CO150 inverter



**tm4**



## CONTACT



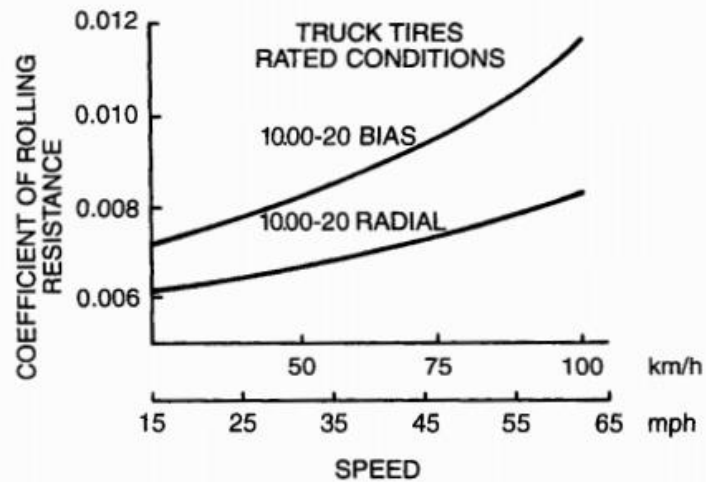
135 J-A Bombardier  
Suite 25  
Boucherville, Québec  
Canada  
J4B 8P1



Phone: +1-450-645-1444

[www.tm4.com](http://www.tm4.com)

## Anexo 6- Coeficiente de resistencia a la rodadura



**Fig. 1.4** Variation of rolling resistance coefficient of radial-ply and bias-ply truck tires with speed under rated load and inflation pressure. (Reproduced with permission from reference 1.8.)

*Ilustración 92 Coeficiente de resistencia a la rodadura del libro Wong*

Esta gráfica obtenida del libro Wong (Wong, 2001), nos indica que para una velocidad de 90 km/h, aproximadamente su coeficiente de resistencia a la rodadura valdrá un valor del entorno de 0,012. Este valor es el que se ha usado para ambos camiones.



## Anexo 7- Comparativa con otros vehículos

### Comparativa MAN con medios de transporte eléctricos diferentes

- Se va a comparar la autonomía específica del camión MAN con la de un patinete eléctrico de la marca XIAOMI.

El patinete eléctrico tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 100 \text{ kg}$ . Siendo el  $P_{\text{bat}} = 2,8 \text{ kg}$ . Su autonomía es de  $A = 30 \text{ km}$ . La autonomía específica se hará de la siguiente manera.

$$A_e = \frac{30}{2,8} = 10,7 \left( \frac{\text{km}}{\text{kg de batería}} \right)$$

El camión MAN tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 26000 \text{ kg}$ . Siendo el peso de la batería para el caso de pendiente nula  $P_{\text{bat}} = 2526 \text{ kg}$ . Su autonomía es de  $A = 170 \text{ km}$ . La autonomía específica se hará de la siguiente manera.

$$A_e = \frac{170}{2526} = 0,0673 \left( \frac{\text{km}}{\text{kg de batería}} \right)$$

Como se observa con el camión se puede transportar 260 veces más masa, teniendo una autonomía específica 159 veces menor. Con esto se obtiene de conclusión que el camión transporta más carga sin perder tanta autonomía como se podría presuponer.

- Se va a comparar el consumo específico en 100km recorridos del camión MAN con el de un coche eléctrico de la marca BMW, modelo i3 (BMW, 2019).

El coche tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 1710 \text{ kg}$ . El consumo específico cada 100 km proporcionado por el fabricante es el siguiente.

$$\text{Consumo específico}_{a \text{ los } 100\text{km}} = 14,3 \left( \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \right)$$

El camión MAN tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 26000 \text{ kg}$ . El consumo específico cada 100 km obtenido para el caso de pendiente nula es el siguiente.

$$\text{Consumo específico}_{a \text{ los } 100\text{km}} = 147,16 \left( \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \right)$$

Como se observa con el camión se puede transportar 15,2 veces más masa, teniendo un consumo específico a los 100 km 10,3 veces superior. Con esto se saca la conclusión que el camión es más eficiente que el coche, transporta más carga sin consumir tanta energía como se podría presuponer.

## Comparativa LION con medios de transporte eléctricos diferentes

- Se va a comparar la autonomía específica del camión LION clase 8 con la de un patinete eléctrico de la marca XIAOMI.

El patinete eléctrico tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 100 \text{ kg}$ . Siendo el  $P_{\text{bat}} = 2,8 \text{ kg}$ . Su autonomía es de  $A = 30 \text{ km}$ . La autonomía específica se hará de la siguiente manera.

$$A_e = \frac{30}{2,8} = 10,7 \left( \frac{\text{km}}{\text{kg de batería}} \right)$$

El camión LION tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 24766 \text{ kg}$ . Siendo el peso de la batería para el caso de pendiente nula  $P_{\text{bat}} = 2497,57 \text{ kg}$ . Su autonomía es de  $A = 170 \text{ km}$ . La autonomía específica se hará de la siguiente manera.

$$A_e = \frac{170}{2497,47} = 0,068 \left( \frac{\text{km}}{\text{kg de batería}} \right)$$

Como se observa con el camión se puede transportar 248 veces más masa, teniendo una autonomía específica 158 veces menor. Con esto se obtiene de conclusión que el camión transporta más carga sin perder tanta autonomía como se podría presuponer.

- Se va a comparar el consumo específico en 100km recorridos del camión MAN con el de un coche eléctrico de la marca BMW, modelo i3 (BMW, 2019).

El coche tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 1710 \text{ kg}$ . El consumo específico cada 100 km proporcionado por el fabricante es el siguiente.

$$\text{Consumo específico}_{a \text{ los } 100\text{km}} = 14,3 \left( \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \right)$$

El camión MAN tiene una  $MMA = Q_{\text{útil}} + TARA + P_{\text{bat}} = 24766 \text{ kg}$ . El consumo específico cada 100 km obtenido para el caso de pendiente nula es el siguiente.

$$\text{Consumo específico}_{a \text{ los } 100\text{km}} = 145,38 \left( \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \right)$$

Como se observa con el camión se puede transportar 14,5 veces más masa, teniendo un consumo específico a los 100 km 10,2 veces superior. Con esto se saca la conclusión que el camión es más eficiente que el coche, transporta más carga sin consumir tanta energía como se podría presuponer.



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza